

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Lukáš Sasín

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Tvorba digitálního modelu výrobní technologie
Design of Digital Model of Production Technology

2019

Bc. Lukáš Sasín

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Lukáš Sasín

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Tvorba digitálního modelu výrobní technologie
Design of Digital Model of Production Technology

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je vytvořit digitálního dvojníka dopravníkového výrobního systému pomocí propojení počítačového simulačního modelu s PLC úrovní.

1. Rozbor problematiky diskretních výrobních systémů - vlastností, chování, modelování a simulace, řízení a automatizace procesů.
2. Seznámení se se prostředím Tecnomatix Plant Simulation, TIA Portal a PLCSIM Advanced a nastudování principů práce s těmito nástroji.
3. Návrh části dopravníkového systému ve vybraném CAD prostředí.
4. Návrh a realizace digitálního modelu dopravníkového systému vycházejícího z CAD návrhu pomocí simulačního softwaru Tecnomatix Plant Simulation.
5. Realizace a vyhodnocení zvolených simulací pomocí vytvořeného modelu.
6. Demonstrace využití vytvořeného modelu pro testování řídicích aplikací s pomocí nástroje PLCSIM Advanced.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BANKS, Jerry, John S CARSON a Barry L NELSON. *Discrete-event system simulation*. DISCRETE EVENT SIMULATION [online]. 2000, (3/e) [cit. 2015- 08-24]. Dostupné z: http://www.telecom.otago.ac.nz/tele302/ref/Banks_DES.pdf.
- [2] PROUD, John F. *Master scheduling: a practical guide to competitive manufacturing*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2007, xxviii, 657 s. ISBN 978-0-471-75727-6.
- [3] BRANDIMARTE, Paolo a Agostino VILLA (Eds.). *Modeling manufacturing system: from aggregate planning to real-time control*. Berlin: Springer, 1999, 215 s. ISBN 35-406-5500-X.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



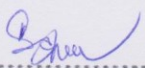

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem Diplomovou práci na téma Tvorba digitálního modelu výrobní technologie vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 29.4.2019



Bc. Lukáš Sasín

Poděkování

Velice rád bych poděkoval firmě Taurid Ostrava s.r.o. za poskytnutí zajímavého tématu pro vypracování mé diplomové práce. Jmenovitě chci poděkovat Ing. Robertu Hofmanovi za odborné vedení, poskytnuté rady a zpětnou vazbu k mé diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat expertce na simulaci výrobních systémů Ing. Ivaně Hromkové, Ph.D. za technickou podporu, odborné vedení, cenné rady a poskytnuté zkušenosti se simulačními nástroji. V neposlední řadě bych také rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D., za pomoc, odborné konzultace a rady při vypracování mé diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce popisuje průběh návrhu digitálního modelu části výrobní technologie a vyhodnocení diskrétní simulace. Dále popisuje možnost využití zpracovaného digitálního modelu k návrhu a validaci algoritmů PLC. Hlavní část práce se zabývá virtuálním zprovozněním výrobní technologie pomocí propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal s využitím programu PLCSIM Advanced.

Abstract

The diploma thesis describes the design of digital model of production technology and evaluation of discrete simulation. It also describes the possibility of using a processed digital model to design and validate PLC algorithms. The main part of the thesis deals with the virtual commissioning of the production technology through the connection of the Tecnomatix Plant Simulation and TIA Portal programs using PLCSIM Advanced.

Klíčová slova

Diplomová práce, virtuální zprovoznění, digitální model, modelování, řízení a automatizace procesů, diskrétní výrobní systémy, simulační nástroje, simulace, optimalizace, digitální dvojče, materiálový tok, TIA Portal, Tecnomatix Plant Simulation, PLCSIM Advanced, Taurid Ostrava s.r.o.

Keywords

Diploma thesis, virtual commissioning, digital model, modeling, process control and automation, discrete manufacturing systems, simulation tools, simulation, optimization, digital twin, material flow, TIA Portal, Tecnomatix Plant Simulation, PLCSIM Advanced, Taurid Ostrava s.r.o.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 9 |
| SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK..... | 10 |
| SEZNAM ILUSTRACÍ..... | 10 |
| 1 ÚVOD..... | 11 |
| 2 CÍLE PRÁCE A METODICKÝ POSTUP ŘEŠENÍ..... | 12 |
| 2.1 CÍLE PRÁCE..... | 12 |
| 2.2 METODICKÝ POSTUP..... | 12 |
| 3 ROZBOR PROBLEMATIKY DISKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ..... | 13 |
| 3.1 VLASTNOSTI A CHOVÁNÍ DISKRÉTNÍCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ..... | 13 |
| 3.2 MODELOVÁNÍ VE VÝROBNÍCH PROCESECH..... | 13 |
| 3.3 SIMULACE VE VÝROBNÍCH PROCESECH, SOFTWARE NÁSTROJE..... | 15 |
| 3.4 ŘÍZENÍ A AUTOMATIZACE VÝROBNÍCH PROCESŮ..... | 17 |
| 4 SEZNÁMENÍ S PROSTŘEDÍMI TECNOMATIX PLANT SIMULATION, TIA PORTAL A PLCSIM ADVANCED..... | 19 |
| 4.1 TECNOMATIX PLANT SIMULATION..... | 19 |
| 4.2 TIA PORTAL..... | 22 |
| 4.3 PLC SIM ADVANCED..... | 24 |
| 5 NÁVRH ČÁSTI DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU VE VYBRANÉM CAD PROSTŘEDÍ. 27 | |
| 5.1 POPIS MATERIÁLOVÉHO TOKU A ÚČEL VÝROBNÍHO SYSTÉMU..... | 27 |
| 5.2 NÁVRH DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU..... | 29 |
| 6 NÁVRH A REALIZACE DIGITÁLNÍHO MODELU DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU VYCHÁZEJÍCÍHO Z CAD NÁVRHU..... | 31 |
| 6.1 NÁVRH A REALIZACE DIGITÁLNÍHO MODELU V TECNOMATIX PLANT SIMULATION..... | 31 |
| 6.2 POPIS FUNKCIONALITY..... | 34 |
| 6.3 VYUŽITÉ ALGORITMY..... | 35 |
| 7 REALIZACE A VYHODNOCENÍ ZVOLENÝCH SIMULACÍ POMOCÍ VYTVOŘENÉHO SIMULAČNÍHO MODELU..... | 38 |
| 7.1 ÚZKÁ MÍSTA – BOTTLE NECK..... | 38 |
| 7.2 VYHODNOCENÍ SIMULACÍ..... | 40 |
| 8 DEMONSTRACE VYUŽITÍ VYTVOŘENÉHO MODELU PRO TESTOVÁNÍ ŘÍDICÍCH APLIKACÍ S POMOCÍ NÁSTROJE PLCSIM ADVANCED..... | 43 |
| 8.1 PROPOJENÍ PROGRAMŮ TECNOMATIX PLANT SIMULATION A TIA PORTAL..... | 43 |
| 8.2 ŘÍZENÍ APLIKACE TECNOMATIX PLANT SIMULATION POMOCÍ ALGORITMU V TIA PORTAL S VYUŽITÍM NÁSTROJE PLCSIM ADVANCED..... | 44 |
| 8.3 VYUŽITÉ ALGORITMY..... | 46 |
| 8.4 SHRNUTÍ..... | 51 |
| 9 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ..... | 54 |
| 9.1 ZHODNOCENÍ DIGITÁLNÍHO ZPROVOZNĚNÍ..... | 54 |
| 9.2 VÝHLED DO BUDOUCNA..... | 55 |
| 9.3 ZÁVĚR..... | 55 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| LITERATURA | 56 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 58 |

Seznam použitých symbolů a zkratek

| | |
|------------|---|
| PLC | - programovatelný logický automat |
| HMI | - rozhraní mezi člověkem a strojem |
| SCADA | - supervizní řízení a sběr dat |
| LAN | - lokální síť, místní síť |
| WLAN | - bezdrátová lokální síť, bezdrátová místní síť |
| CPU | - centrální procesorová jednotka |
| VLRM | - programovací jazyk pro popis trojrozměrných scén |
| AGV | - indukčně naváděné vozíky |
| PS | - program Tecnomatix Plant Simulation |
| OPC | - komunikační protokol, jednotné komunikační rozhraní |
| OPC-UA | - nová verze OPC protokolu nejen pro Windows |
| SP | - přívlastek označující decentrální periférii v nabídce Siemens |
| PS | - program Tecnomatix Plant Simulation |
| TIA | - program TIA Portal |
| DP | - decision point, křižovatka |
| Metoda | - podprogram |
| OB | - organizační blok |
| MU | - material unit, materiál ve výrobním procesu |
| I | - input, vstup |
| O | - output, výstup |
| M | - memory bit, paměťový bit |
| DB | - data block, datový blok |
| M2M | - machine to machine |
| Ks/h | - kusů za hodinu |
| Snglproc | - stroj v PS s jednou pozicí |
| Doubleproc | - stroj v PS s více než jednou pozicí |
| PLM | - product lifecycle management |

Seznam ilustrací

Seznam ilustrací

| | |
|---|----|
| Obr. 1 Vývojový diagram procesu simulace systému [4] | 14 |
| Obr. 2 Struktura počítačově řízené výroby [5]..... | 17 |
| Obr. 3 Ukázka Simulačního modelu testovací části linky v programu Tecnomatix Plant Simulation . | 21 |
| Obr. 4 Schéma zobrazující rozhraní a využití standardu OPC UA [9] | 23 |
| Obr. 5 Obrázek popisující využitelnost programu PLC SIM Advanced [6] | 24 |
| Obr. 6 Obrázek popisující distribuovanou topologii využití programu PLC SIM Advanced [6] | 24 |
| Obr. 7 Obrázek popisující topologii propojení SW..... | 25 |
| Obr. 8 Příklad ideální spolupráce systémů a předloha komunikace Průmyslu 4.0 [6]..... | 26 |
| Obr. 9 Vytvořený Layout v CAD prostředí..... | 30 |
| Obr. 10 Dialogové okno pro základní nastavení objekt Line..... | 32 |
| Obr. 11 Attributes and methods objektu Line | 33 |
| Obr. 12 Navržený výrobní systém v programu Tecnomatix Plant Simulation | 34 |
| Obr. 13 Tabulka vstupního mixu v simulačním modelu | 34 |
| Obr. 14 Směry komponenty Converter získané z nápovědy v programu Tecnomatix Plant Simulation | 36 |
| Obr. 15 Vlevo tabulka (matice) polohovacích časů, vpravo tabulka cílů s úhlem natočení robota | 37 |
| Obr. 16 Úzké místo Sorter..... | 38 |
| Obr. 17 Odstranění úzkého místa Sorter | 38 |
| Obr. 18 Úzká místa křižovatky 4.2, 4.4, Machine1, Machine3..... | 39 |
| Obr. 19 Úprava vstupního mixu odstranění úzkých míst křižovatka 4.2, 4.4, Machine 1,3 | 40 |
| Obr. 20 Výsledky výstupů výrobní linky za 6:15:0 | 41 |
| Obr. 21 Graf průměrného vytížení strojů | 42 |
| Obr. 22 Tabulka s vyčtenými tagy z PLC a názvem Alias používaným v PS | 45 |
| Obr. 23 Tabulka Inputs s uvedenou metodou vyvolanou při změně hodnoty tagu | 46 |
| Obr. 24 Příklad řízení dopravníku v PLC na pozici 3.2 | 47 |
| Obr. 25 Příklad řízení dopravníku v PLC na pozici 4.2 | 48 |
| Obr. 26 Příklad řízení DP v PLC na pozici 4.5 | 49 |
| Obr. 27 Příklad řízení rovnoměrného rozdělování polotovaru Part2 mezi 2 směry v PLC na pozici 4.4 | 49 |
| Obr. 28 Příklad řízení přístupu čtyř polotovarů v PLC do Machine2 | 50 |
| Obr. 29 Ukázka přeneseného řízení z Tecnomatix Plant Simulation do TIA Portal v monitorovacím módu..... | 51 |

1 Úvod

První část diplomové práce se zabývá problematikou počítačové simulace. V poslední době se napříč spektrem oborů využívá této možnosti k co nejpřesnějšímu zmapování a zobrazení minulé, aktuální či budoucí situace. Počítačová simulace dovoluje testovat, optimalizovat a předvídat chování systému a snadno měnit vstupní podmínky. Tyto podmínky se v realitě buď realizovat nedají, například simulace šíření epidemie, nebo se realizovat dají, ale bez velmi značné investice by to nebylo možné. V těchto situacích je největší uplatnění simulace. Vstupní podmínky se dají měnit velmi jednoduše, na jejich základě sledovat výstupní analýzu a případně přikročit k opatřením, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku.

Práce se bude zabývat tvorbou digitálního modelu pro budoucí realizaci výrobního systému kontrolní a lakovací linky. V tomto kontextu je potřeba vytvořit kopii navrhovaného systému (digitální dvojče) a poté na základě nastavení vstupních dat analyzovat chování systému a potvrdit, či vyvrátit očekávané vlastnosti navrhovaného řešení. Výsledky budou zhodnoceny, případně dojde k úpravě systému, aby splňoval očekávané vlastnosti. Na to bude navazovat druhá, stěžejní polovina práce, kde bude využito digitálního dvojčete pro tvorbu algoritmu pro řídicí systém PLC. Algoritmy využívané v simulačním modelu budou implementovány do reálného řídicího systému PLC. Simulační model bude napojen na řídicí systém v simulačním módu, kde bude možné ověřit algoritmy PLC na reálném modelu.

Hlavním cílem práce je virtuální zprovoznění se zaměřením na tvorbu algoritmů řízení. Realizace propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal pomocí nástroje PLCSIM Advanced a ověření tohoto spojení pro využitelnost při tvorbě a testování algoritmu PLC.

Téma práce bylo navrženo firmou Taurid Ostrava s.r.o. Firma by ráda podobné řešení virtuálního zprovoznění využívala ve své praxi.

2 Cíle práce a metodický postup řešení

2.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je virtuální zprovoznění se zaměřením na tvorbu algoritmů řízení. Realizace propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal pomocí nástroje PLCSIM Advanced a ověření tohoto spojení pro využitelnost při tvorbě a testování algoritmu PLC.

Dílčím cílem práce je nastudování problematiky řízení diskretních systémů se zaměřením na jejich simulaci, popis práce s využitými programy, tvorba digitálního modelu výrobního systému lakovny. Na tomto systému demonstrovat hlavní cíl práce, propojení a řízení digitálního modelu tohoto výrobního systému pomocí virtuálního PLC. Zhodnocení výhod a nevýhod virtuálního přístupu řešení návrhu a tvorby algoritmu výrobního systému oproti konvenčnímu přístupu.

2.2 Metodický postup

Zadání práce bylo koncipováno a odpovídá metodickému postupu při řešení práce. Budou uvedeny body zadání a popis jejich náležitostí, které odpovídají metodickému postupu řešení.

V první části práce je proveden teoretický rozbor problematiky diskretních řídicích systémů se zaměřením především na jejich simulaci. Jsou zde popsány postupy a simulační nástroje. Dále je zde uveden rozbor problematiky řízení v návaznosti na cíl práce, přeorganizování vrstev v pyramidě počítačově řízené výroby a maximálního využití komunikace v souvislosti s průmyslem 4.0.

V druhé části teoretického rozboru jsou představeny programy, které byly využity při tvorbě práce. Jedná se o simulační nástroj od firmy Siemens Tecnomatix Plant Simulation, nástroj TIA Portal pro tvorbu algoritmů řízení PLC úrovně, PLCSIM Advanced, zajišťující simulaci PLC. Je zde stručně popsán způsob práce s nástroji a zkušenosti s jejich používáním.

V hlavní části práce je nejprve stanoven cíl, definice požadavků vytvoření simulace a řízení kontrolního a lakovacího výrobního systému. Jsou zde stanoveny technické vlastnosti řešení, prostorová dispozice, výrobní takt, funkce atd. Na základě těchto specifikací je vytvořen layout v CAD prostředí.

Dále následuje přenesení funkčního a technického popisu do digitálního modelu zpracovaného v programu Tecnomatix Plant Simulation a tvorba jeho řízení. Je ověřeno splnění požadovaných parametrů výrobní linky a její úpravy. Výsledky jsou shrnuty do vyhodnocení simulace.

Následuje stěžejní část práce, kdy je řešeno propojení vytvořeného digitálního modelu lakovací linky v programu Tecnomatix Plant Simulation s programem TIA Portal. Je zde uveden popis propojení a ověření funkčnosti. Na toto navazuje tvorba algoritmů PLC v programu TIA Portal a úprava algoritmů simulace tak, aby bylo dosaženo verifikace algoritmu PLC na digitálním modelu. Digitální model řízený v programu Tecnomatix Plant Simulation musí vykazovat stejné výsledky v řízení jako digitální model řízený pomocí algoritmu v PLC.

Poslední část práce shrnuje využitelnost tohoto postupu. Výhody a problémy, přinášející tento přístup k plánování a realizaci výrobních systémů a jejich využitelnost v praxi.

3 Rozbor problematiky diskrétních výrobních systémů

3.1 Vlastnosti a chování diskrétních výrobních systémů

Jako diskrétní systémy je myšleno především řízení jak simulace, tak řídicího systému na základě skokových událostí. Nejedná se o výrobní systém, ve kterém nastává řízení na základě spojité změny v čase.

Typické vlastnosti pro diskrétní simulační modely

- proměnný počet prvků systému (požadavků)
- reprezentace front pomocí spojových seznamů
- vysoký stupeň paralelnosti výpočtu
- velké nároky na řízení programu (vyplývá z paralelnosti)
- vysoké nároky na paměť (velký počet prvků – požadavků)

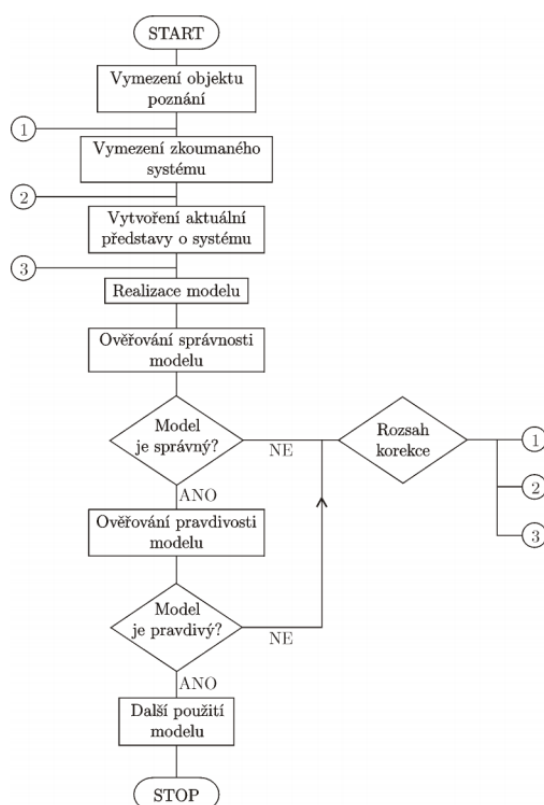
Typické vlastnosti pro diskrétní výrobní systémy

U výrobních systémů se mimo označení diskrétní (událostní) systém využívá označení sekvenční systémy, případně sekvenční systémy s paralelismem. Tento způsob řízení je v průmyslu s ohledem na řízení výrobních linek nejvyužívanější. Na základě události se provede adekvátní reakce. Sekvence událostí a reakcí řídí materiálový tok.

3.2 Modelování ve výrobních procesech

Podstatou modelování, ve smyslu výzkumné techniky, je náhrada zkoumaného systému jeho modelem, jehož cílem je získat pomocí pokusů s modelem informaci o původním zkoumaném systému.

Digitální model vyjadřuje návrh simulovaného systému. Návrh digitálního modelu (digital twin) může, ale nemusí, vycházet z matematického popisu aktuální představy o simulovaném systému. Za simulační se považuje jen takový model, jenž při napodobování dynamiky simulovaného systému zachovává uspořádání posloupnosti časových změn.



Obr. 1 Vývojový diagram procesu simulace systému [4]

Vymezením objektu poznání je myšleno vyčlenění zkoumaného objektu z okolního světa. Aktuální představa o simulovaném systému v sobě zahrnuje aktuální znalosti o zkoumaném systému, jeho struktuře a časových změnách. V etapě realizace modelu jde o návrh simulujícího systému a jeho realizaci na vhodném simulátoru. Model je považován za správný, jestliže odpovídá aktuální představě o simulovaném systému. Ověřením pravdivosti modelu se rozumí verifikace hypotéz o zkoumaném systému, resp. ověření, zda vyprojektovaný systém splňuje stanovené požadavky. Z fází ověřování správnosti a pravdivosti modelu se v případě neúspěchu přechází k fázím již absolvovaným. Způsob a rozsah korekce závisí přitom zejména na charakteru a závažnosti zjištěných nesrovnalostí. Ověřeného modelu lze v procesu poznání využívat např. k identifikaci parametrů modelu, k prognózování, vědecké predikci, optimalizaci a tak dále.[4]

Pod termínem model se skrývá další význam, důležitý pro řídicí a simulační systémy. Jedná se o abstraktní model. Ten má za cíl zjednodušit, zpřehlednit, popsat fungování reálného složitého systému. Forma abstraktního modelu není závazná, může se jednat o popis pomocí textu, schématu atd. Vždy je volen takový abstraktní model, aby systém co nejvíce zjednodušil, ale přitom zahrnul všechny potřebné informace pro tvorbu simulačního modelu, případně algoritmu řídicího systému.

V sekvenčních systémech je velmi hojně využívaná forma abstraktního modelu popisu pomocí Petriho sítí. Tento popis je vhodný a využitelný jak pro tvorbu simulačního modelu, tak pro tvorbu řídicího algoritmu reálného systému. V případě, že simulační model i řídicí algoritmus vycházejí ze stejného abstraktního modelu, je pravděpodobné, že se reakce systému budou shodovat. Je zde pak menší nutnost provádět korekce v algoritmu řídicího systému, aby dosahoval výsledků simulace. [14]

3.3 Simulace ve výrobních procesech, softwarové nástroje

Teoretický rozbor na téma simulace ve výrobních procesech byl proveden už v mé bakalářské práci, kde jedním z řešených témat byla simulace výrobního systému mořírny.[13] Zde byl proveden následující teoretický rozbor simulace ve výrobních procesech.

Úvod do problematiky

Simulační software je již řadu let součástí běžné inženýrské praxe. Dnes už nejsou tyto aplikace zaměřeny pouze na řešení jednoho určitého problému, ale jsou velmi komplexní. Simulační software se nevyužívá pouze v elektrotechnice, ale také v další řadě technických oborů, jako je například strojírenství a chemie.

Důvodů, proč vlastně využívat simulační nástroje, je hned několik. Možnost modelovat zatím neexistující výrobu nebo u stávající výroby hledat příčiny vyskytujících se problémů. Takto lze snadno najít úzká místa ve výrobním procesu, získat informace o vytížení strojů i personálu. Tyto informace nám pak mohou pomoci při samotném návrhu řídicího systému.

Dalšími faktory, které je nutno brát v potaz, je pak časové hledisko. Modelování v mnoha případech lze uskutečnit ve velmi krátké době. Obecně však platí, čím detailnější požadavek na simulaci, tím více času zabere jeho tvorba. Významným faktorem je i ekonomická stránka věci. Firmám se dnes mnohem více vyplatí nejprve simulovat budoucí výrobu a případně odhalit nejruznější úzká místa. Tato úskalí nemusí být vždy na první pohled patrná, avšak použitím simulace se lze velkému procentu těchto skrytých úskalí vyvarovat.

Charakteristické rysy výrobních systémů

K tomu, aby bylo možné vytvářet odpovídající a kvalitní model výrobních systémů a procesů v nich probíhajících, je třeba nejprve pochopit strukturu výroby a seznámit se s jejími jednotlivými částmi. Nejprve je tedy nutné výrobní systém důkladně analyzovat a interpretovat. Tato analýza můžeme být realizována podle několika různých hledisek, níže jsou zmíněny některé z nich.

- *Typ výroby*

Rozlišuje, zdali se jedná o výrobu kusovou, či kontinuální, zda bude vyráběno na zakázku, či na sklad, nebo budeme požadována kombinace těchto možností.

- *Topologie a rozmístění*

Toto hledisko řeší, jak budou umístěny stroje, pracoviště, úseky, vzhledem k prostorovým dispozicím výrobní haly a návaznosti na dopravní a manipulační subsystémy.

- *Tok materiálu*

Řeší, jakými prostředky probíhá pohyb materiálu výrobním procesem. Dopravníkové systémy, systémy AGV, pomoci jeřábů či jakoukoli jejich kombinací. Dále je zde nutno zahrnout systém skladového subsystému.

- *Tok informací*

V tomto kroku je cílem charakterizovat strukturu informačních cest, datová propojení mezi stroji, linkami, geograficky vzdálenými pracovišti, spojení dat s nadřazenými řídicími systémy. Důležitý je také charakter dat, případně možnosti ukládání do databáze.

- *Strojový park a nástrojové vybavení*

Zde je důležitý typy strojů, jejich kapacita, výkon, spolehlivost, nároky na údržbu či obsluhu.

- *Personál a lidské zdroje*

V moderní technologii je trendem snižovat počty lidí, nutných k provozu technologie. Avšak bez lidského faktoru se zatím nikdy neobejdeme. Proto je také požadováno zahrnout nároky kladené na pracovníky ve výrobě, obsluze, údržbě, počet těchto pracovníků a jejich kvalifikaci.

Softwarové nástroje

V dnešní době mohou být systémy pro simulování výroby rozděleny do tří základních kategorií.

Do první kategorie spadají obecné simulační jazyky, například Simula, AweSim a další. Tyto softwarové nástroje jsou spíše samotnými programovacími jazyky. Vstupem i výstupem těchto programů jsou textově zadávané informace. Pracovníci, využívající tyto programy musí být však zdatní a zkušený nejen v oblasti modelování, ale i programování. Výhody jsou ve flexibilitě využití, je však nutné počítat s delším časem návrhu, či přílišnou nenázorností pro koncového zákazníka.

Do druhé kategorie patří převážně programy, využívající grafické rozhraní při komunikaci mezi používanými simulačními jazyky a uživatelem, například AutoMod, Quest a další. Je možné zde tvořit program přímým programováním jako v předchozím případě nebo lze použít i grafického vývoje. Hlavní výhodou je možné provést vizualizaci modelovaného systému. V těchto programech lze už znatelně zkrátit dobu návrhu využitím některých pokročilých funkcí programu.

Do třetí kategorie spadají nejmodernější simulátory, které nevyžadují přímé programování, lze ho ale v potřebných případech použít, například ProModel, WITNESS, Tecnomatix Plant Simulation a další. V těchto programech již převládá plně grafické prostředí, které výrazně pomáhá při vizuální představivosti. Výhodou je i možnost vytvoření modelové vizualizace ve 3D, či virtuální realitě VRML. Dále je pak možné propojení těchto nástrojů s různými databázemi.

Hardwarové nástroje

Kromě softwarových nástrojů se v praxi využívají také nástroje hardwarové. Pod tímto pojmem se skrývají především stavebnice technického charakteru, ze kterých lze sestavit různé modely funkčních strojů či výrobních zařízení. Tyto modely slouží především k návrhu řídicích systémů a virtuálnímu zprovoznění. Tato práce se pak snaží dosáhnout toho, aby i digitální software simulace byla využitelná k digitálnímu zprovoznění a přesnému návrhu PLC řízení simulovaného systému. [2.]

3.4 Řízení a automatizace výrobních procesů

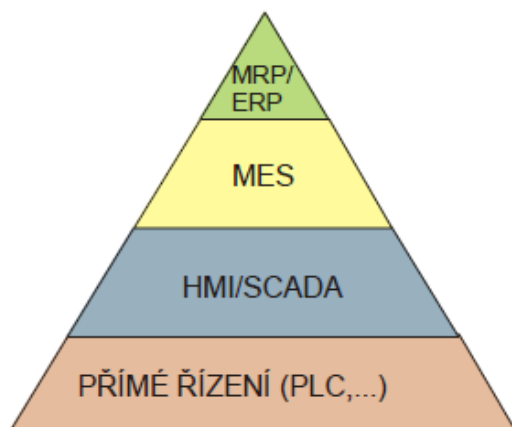
Jak už bylo popsáno výše, princip sekvenčního řízení je reagovat na skokové události. Je mnoho zařízení, které se v automatizaci výrobních procesů dají využít. Pro jednoúčelové aplikace, především jako vestavěné systémy ve velkých sériích, se hojně využívají mikroprocesorové systémy. Dále mohou být pro řízení použity například, průmyslové a osobní počítače, či specializované procesorové systémy. Tyto možnosti jsou ale spíše ojedinělé a pro velké pořizovací náklady nebo malou spolehlivost jsou využívány jen pro určité specifické aplikace.

Pro běžné stavové řízení výrobních procesů se nejvíce využívá programovatelných automatů (PLC). Jsou stavěny pro řízení průmyslových a technologických procesů, dokáží odolávat náročným podmínkám provozu, jsou spolehlivé, cenově dostupné a disponují velkým množstvím funkcí, které mohou být potřebné při stavovém i kontinuálním řízení.

Řídicí algoritmy jsou realizovány uživatelským programem, který může být zapsán v různých programovacích jazycích a po přeložení je uložen v uživatelské paměti PLC. Program se dá modifikovat, proto jsou také používány PLC tam, kde je pravděpodobnost rozšíření nebo ojedinělost výskytu stroje. Modulární či distribuované modulární PLC jsou pak připraveny i na rozšíření fyzického zařízení. Tyto vlastnosti jsou ideální pro automatizaci výrobních procesů. V průmyslové výrobě je velmi pravděpodobné, že dojde k úpravě či rozšíření technologie, přechází se na nový model výrobku, inovace výrobních postupů, optimalizace a tak podobně. Ve většině případů je potřeba modifikovat jak algoritmus, tak fyzické zapojení. Programovatelné automaty svými vlastnostmi dokáží minimalizovat náklady spojené s těmito úpravami.

Programovatelné automaty jsou konstruovány s ohledem na maximální spolehlivost a odolnost proti rušení. Jejich poruchovost bývá zanedbatelná, nejčastější příčina poruchy bývá změna vlastností mechanického objektu. Z tohoto důvodu PLC začíná disponovat autodiagnostikou, diagnostickými senzory a chytrými algoritmy. Tyto nástroje již můžeme řadit do pojmu Průmysl 4.0.

Počítačově řízená výroba se nejčastěji zobrazuje jako pyramida se čtyřmi vrstvami Obr. 2



Obr. 2 Struktura počítačově řízené výroby [5]

Přímé řízení - přímé spojení s řízeným systémem (PLC...)

HMI/SCADA - uživatelské rozhraní

MES - optimalizace průběhu výroby, nadřazené řízení

MRP/ERP - řízení podniku [5]

Na této pyramidě lze snadno pozorovat, o co se snaží tato práce. Přímé propojení MES a PLC vrstvy. V době návrhu je cílem přeorganizovat pyramidu a MES vrstvu přesunout pod vrstvu přímého řízení do základu pyramidy, kde bude v době návrhu simulovat reálný výrobní systém. To znamená, že bude zastupovat fyzické připojení PLC vrstvy k výrobnímu systému. Po dokončení vývoje bude MES vrstva posunuta zpátky na své místo a bude sloužit k již zmíněné optimalizaci a plánování výroby. Jestliže by zůstalo spojení s řídicí aplikací aktivní, mohla by MES vrstva sloužit jakýmsi způsobem i jako HMI/SCADA systém na vyšší úrovni. Tímto návrhem navíc zajistíme naprostou totožnost procesů ve spodních třech vrstvách a zabráníme tak chybným výsledkům v jakékoli vrstvě.

Při tvorbě teoretické části bylo dále čerpáno z [15],[17].

4 Seznámení s prostředím Tecnomatix Plant Simulation, TIA Portal a PLCSIM Advanced

4.1 Tecnomatix Plant Simulation

Tecnomatix Plant Simulation od firmy Siemens je efektivní nástroj pro dynamickou simulaci diskretních událostí, který umožňuje vytvářet digitální modely výrobních a logistických systémů a zkoumat charakteristiky systémů a optimalizovat jejich výkonnost. Na těchto digitálních modelech lze následně provádět v dostupném čase rozsáhlé experimenty a scénáře bez narušení stávajících výrobních systémů. V případě použití již v procesu plánování, je možné získávat pravděpodobné výsledky dlouho před instalací skutečných výrobních systémů.

Plant Simulation je nástroj pro

- vytváření digitálního modelu logického systému (výroby, logistiky apod.) velice blízkého reálnému chování
- simulaci různých variant řešení podle scénářů co se stane, když....
- vyhodnocení pomocí analytických, statistických a grafických nástrojů
- vizualizaci a animaci návrhu a variantních řešení
- optimalizaci výkonu systému, eliminaci úzkých míst při zachování nízkých nákladů
- usnadnění a opodstatnění strategických rozhodnutí již ve fázi úvah o nové výrobě
- denní operativní plánování výroby s cílem maximálního využití zdrojů při změnách vstupů

S řešením Plant Simulation je možné modelovat a simulovat výrobní systémy a jejich procesy. Vedle toho je možné optimalizovat toky materiálu, využívat zdroje a logistiku pro všechny úrovně plánování od jednotlivých strojů, výrobních linek, přes lokální továrny, až po globální výrobní závody.

Klíčové vlastnosti programu

- objektově orientovaný
- interaktivní
- strukturovaný, hierarchický
- 2D a 3D prezentace
- uživatelské a aplikační knihovny
- programovací jazyk SimTalk (varianta C++) pro tvorbu Metod, které řídí činnost objektů
- generátory náhodných čísel pro přesnější přiblížení funkce modelu ke skutečnosti
- moduly pro analýzu (Analyzátor úzkých míst, Ganttův diagram, Statistický analyzátor)
- genetický algoritmus pro automatickou optimalizaci parametrů systému

Rozsáhlé analytické nástroje, statistiky a grafy, umožňují vyhodnotit různé výrobní scénáře. Výsledky pak poskytují informace potřebné k učinění rychlých a spolehlivých rozhodnutí v raných fázích plánování výroby.

Mezi přínosy simulace zpracované v Tecnomatix Plant Simulation patří

- zvýšení produktivity stávajícího systému o 12-20%
- snížení investičních nákladů při plánování nového systému až o 20%
- snížení zásob a doby průchodu o 20-60%
- optimalizace velikosti systému včetně velikosti skladů
- snížení investičního rizika včasným ověřením simulacemi
- maximální využití výrobních zdrojů
- zkvalitnění projekce a konstrukce výrobních linek
- zkrácení náběhu výroby [3] [22]

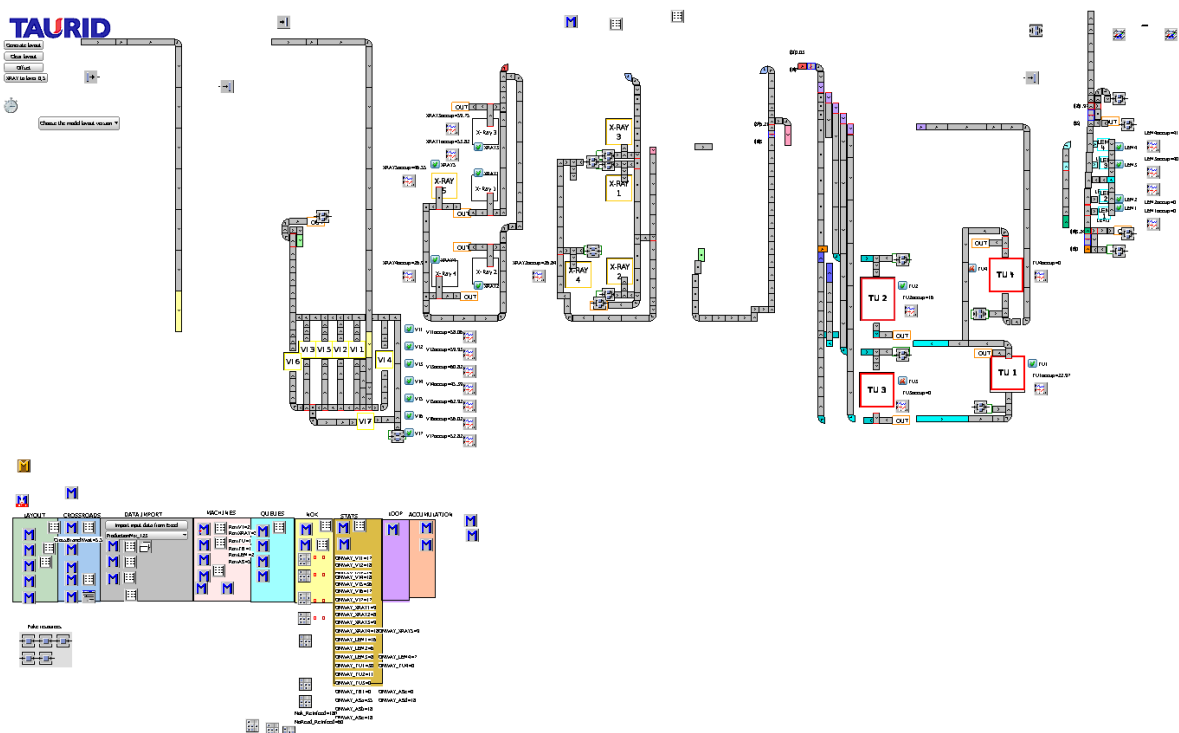
Práce se s nástrojem

Seznámení se softwarem Tecnomatix Plant Simulation bylo dosaženo při spolupráci na realizaci komerčního projektu ve firmě Taurid Ostrava s.r.o., při kterém paralelně probíhala práce na diplomové práci.

Obsahem projektu byla realizace digitálního modelu části výrobního systému ve výše zmíněném programu. Jedná se o konečnou část kontrolní linky, kde výrobek prochází přes čtyři různé testery. Musí splnit veškeré testy, nebo je určen na opravu. Tato linka je klíčová, v aktuálním stavu udává takt výroby. Výrobní část linky totiž dokáže vyrobit více výrobků, než testovací linka zvládne otestovat. Před investicí do strojů a dopravníků, která ani nemusí přinést očekávaný výsledek, si firma vyžádala vytvořit simulaci, kterou také bude používat při plánování výroby. Aktuální výrobnost testovací linky je přibližně 10000 kusů výrobků za 24 hodin. Po zavedení navrhovaných úprav je požadovaná výrobnost 12000 kusů výrobků za 24 hodin.

V této zakázce byl prvotně vymezen objekt a vytvořen layout digitálního modelu v Tecnomatix Plant Simulation. Dále byla zahájena spolupráce na tvorbě algoritmů a úpravě vstupních dat. Byla provedena verifikace digitálního modelu a jeho testování výrobnosti, úzkých míst, vytíženosti strojů, vytíženosti dopravníkového systému.

Vytvořený digitální model nebude v této práci podrobně popsán, je značně rozsáhlý a samostatně by se o něm dala zpracovat závěrečná práce. Je zde uveden jako názorná ukázka seznámení se s programem Tecnomatix Plant Simulation. Tato zakázka byla první zkušeností s tímto programem. Obrázek Obr. 3 je pouze ilustrativní, pro představu rozsáhlosti projektu, z tohoto důvodu není přiložen samostatně v příloze.



Obr. 3 Ukázka Simulačního modelu testovací části linky v programu Tecnomatix Plant Simulation

Bude zde uvedeno pár vlastností a výsledků práce na tomto digitálním modelu. Aktuální zatížení linky je 3,1 milionu kusů za rok. Digitální model odpovídá reálnému dispozičnímu uspořádání všech zdrojů. Existuje tabulka jednotlivých zdrojů digitálního modelu se souřadnicemi, která zajišťuje snadnou editaci zdrojů. Digitální model umožňuje automatické generování layoutu z této tabulky. Digitální model lze zobrazit jako jednoúrovňový, rozdělený do 5 částí podle operačních strojů, kde každou část lze testovat samostatně. Volbou lze layout přepnout na víceúrovňovou variantu, kdy jsou dopravníky nad sebou jako v reálném kontrolním systému. Algoritmy používané v reálném řízení jsou zapracovány v algoritmu digitálního modelu. Pro testování je využit vstupní vzorek za 24 h, který byl vyčten ze systému provozovatele. Pro testování nových zařízení byl uměle navýšen o 110-145 %. Vzorek je možné v digitálním modelu jednoduše měnit. V digitálním modelu jsou umístěny skenery průchodu materiálu dle reálného stavu. Každý stroj je možné samostatně vypnout a simulovat poruchovou produkci. V simulačním modelu je možnost přepínat varianty layoutů mezi aktuálním a rozšířeným stavem. Veškeré nastavení, vstupní a řídicí hodnoty, jsou umístěny v tabulkách, jsou lehce editovatelné. U každého stroje je umístěn graf zobrazující zatížení stroje. Maximální zatížení linky bylo při přidání strojů a optimalizaci stanoveno na 3,8 milionu kusů za rok. Toto číslo přesáhlo i očekávanou výrobnost. Jedno z větších úzkých míst byly křižovatky na principu kombinace válečkových a přízdvihových páskových dopravníků. Doba přejezdu těchto křižovatek se musí urychlit z 6,5s na 5,9s jinak není možné dosáhnout tíženého výsledku. Je potřeba vytvořit překlenutí úzkého místa soustavy sklopných dopravníků pro ty polotovary, které toto místo projíždět nemusejí atd.

4.2 TIA Portal

Zkratka TIA znamená Totally Integrated Automation Portal, v překladu zcela integrovaný portál automatizace. Jedná se o komplexní nástroj pro tvorbu programového vybavení dvou prvních vrstev ve schématu počítačově řízené výroby. Program slouží k vývoji uživatelských aplikací pro PLC a decentrální periferie, projektování panelů HMI, rozsáhlých vizualizací SCADA, síťových komponent a komunikačních prvků i konfigurace a uvádění pohonů do provozu - to vše je integrováno do společného softwarového prostředí s jednotným a jednoduchým ovládáním z jedné jediné plochy. To znamená zrychlení tvorby uživatelských aplikací, ale i vyšší konzistenci dat napříč celým projektem a zároveň jednoduchou a transparentní strukturu celého řešení, kterou lze snadno měnit nebo doplňovat a která zjednodušuje diagnostiku v běžném provozu, tedy i údržbu a servis automatizační techniky.

TIA Portal je primárně určený pro veškeré programovatelné automatizační zařízení, které vyrábí firma Siemens. Se svými charakteristickými systémovými vlastnostmi programování (vývoj, komunikace, diagnostika, safety technika, obecná bezpečnost a robustnost) podporuje TIA Portal kompletní životní cyklus stroje resp. zařízení. Pro přípravu a realizaci projektu je komplexní a jednotné prostředí dnes žádanější než kdykoli předtím, protože šetří čas a peníze.[8]

Je předpokládáno, že program TIA Portal není potřebné podrobně představovat. Programovatelné logické automaty značky Siemens, pro které je nástroj určen, mají na trhu největší zastoupení. TIA Portal tvoří s PLC jednoduchý a velmi výkonný kvalitní automatizační nástroj pro řízení sekvenčních procesů a také zvládá návrhy regulátorů a spojitou regulaci výstupní veličiny.

S programem TIA Portal byla možnost se seznámit v předmětech během studia na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava. Byla vytvořena řada programů ve cvičeních a řada semestrálních prací od části pneumatické třídící linky, tvorbu regulátorů až po čtení a zpracování dat pomocí RFID. Prostor TIA Portal je opravdu přehledné a intuitivní. Někdy se ale vyskytly situace, kdy prostředí nefungovalo podle předpokladů.

TIA Portal umožňuje uživateli psát řídicí algoritmy ve velkém množství programovacích jazyků. V oblasti programovacích jazyků se řídí normou IEC61131-3 částí 3. Dodržování této normy usnadňuje programátorům přechod mezi systémy různých výrobců.

Programovací jazyky, které tato norma upravuje, jsou

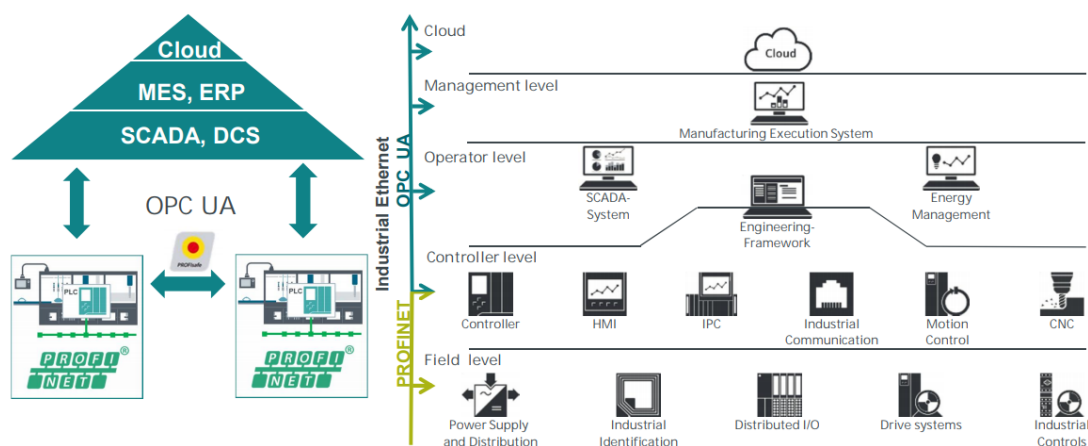
- strukturovaný text
- výpis instrukcí
- liniové Schéma
- diagram funkčních bloků
- sekvenční funkční graf [5]

Hlavní výhodou dodržování této normy je možnost přenositelnosti řídicího programu. Řídicí program, vyvinutý pro jeden typ PLC, může být teoreticky provozován na jiném PLC, které dodržuje tuto normu. V praxi ale systém přímého přenesení programu naráží na problémy. Funkce a zápis programu jsou totožné, ale přímá kompilace programu vytvořeného v prostředí jiného výrobce z pravidla není možná. Norma definuje řadu vlastností programovacích jazyků a záleží na tom, zda se

výrobce rozhodne tyto vlastnosti implementovat. V praxi je tedy malá šance, že dva rozdílní výrobci implementují stejnou množinu vlastností.

Nový TIA Portal V15 obsahuje velké množství vylepšení. Pro tuto práci je důležité to, že obsahuje OPC UA podporu. Na této platformě komunikuje s PLCSIM Advanced a programem Plant Simulation.

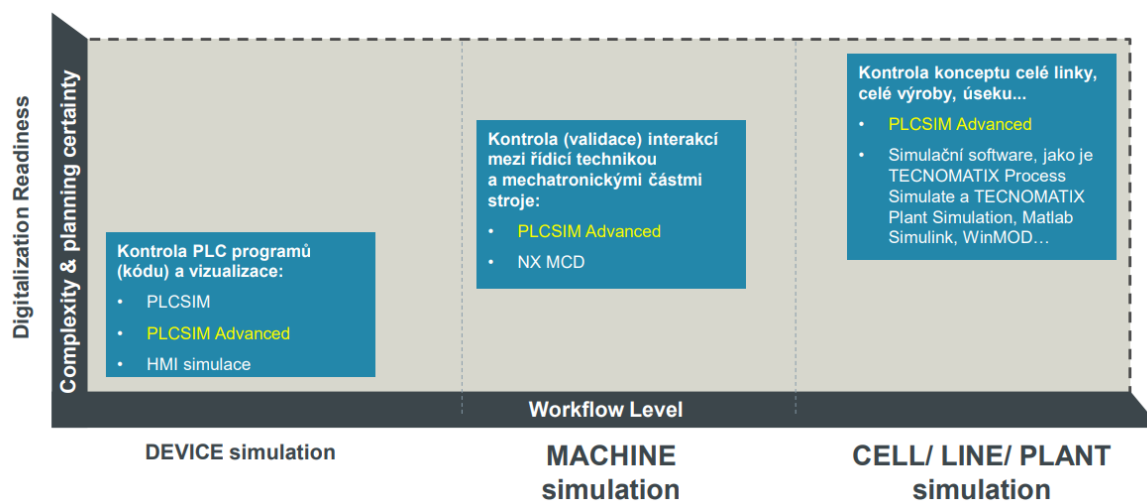
OPC UA je nový průmyslový M2M standard vyvinutý OPC Foundation. Je založený na protokolech a standardech TCP/IP, http atd. Starý standard OPC byl vyvinut firmou Microsoft, a tudíž běžel pouze na OS Windows. Tento nový standard může fungovat i na jiných platformách, a proto je možné zabudovat i do samotných PLC automatů. V programovatelných automatech řady S7-1500 je již OPC UA server zabudován. Proto také propojení pomocí PLCSIM Advanced a programu Tecnomatix Plant Simulation jde realizovat jen s těmito programovatelnými automaty.[9]



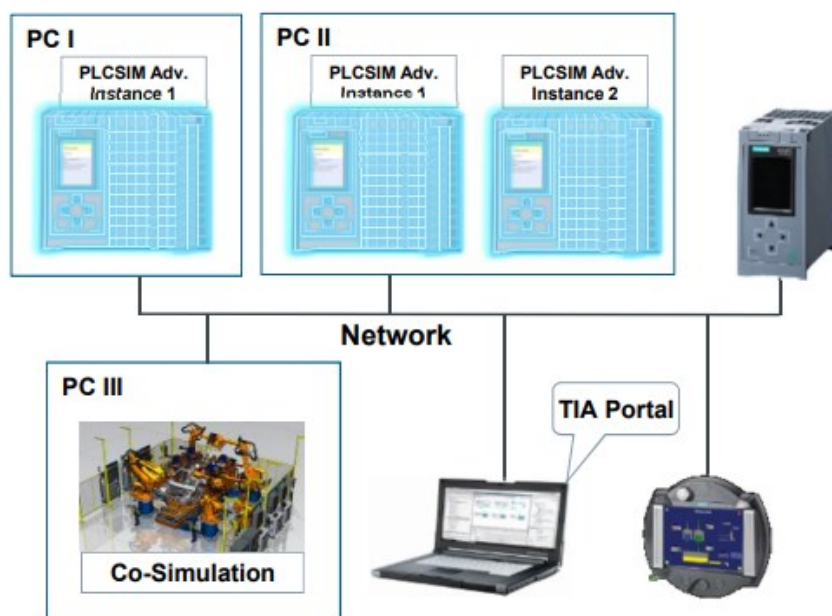
Obr. 4 Schéma zobrazující rozhraní a využití standardu OPC UA [9]

4.3 PLC SIM Advanced

Jedná se o program, který simuluje rozsáhlé funkce PLC včetně komunikace, bloků s ochranou duševním vlastnictvím, bezpečnostními funkcemi a web serverem. Umožňuje komplexní simulaci během konfigurace a projektování v programu TIA Portal bez nutnosti fyzického připojení k Hardwaru. Podporuje generování virtuálních ovladačů pro simulaci S7-1500 a distribuovaných systémů ET200SP. Je možné vytvořit mnohonásobně distribuované instalace pro simulaci několika PLC na jednom PC. Nejdůležitější funkcí, která je podstatná pro tuto práci, je že dokáže zprostředkovat komunikaci mezi simulačním softwarem a virtuálním PLC.



Obr. 5 Obrázek popisující využitelnost programu PLC SIM Advanced [6]



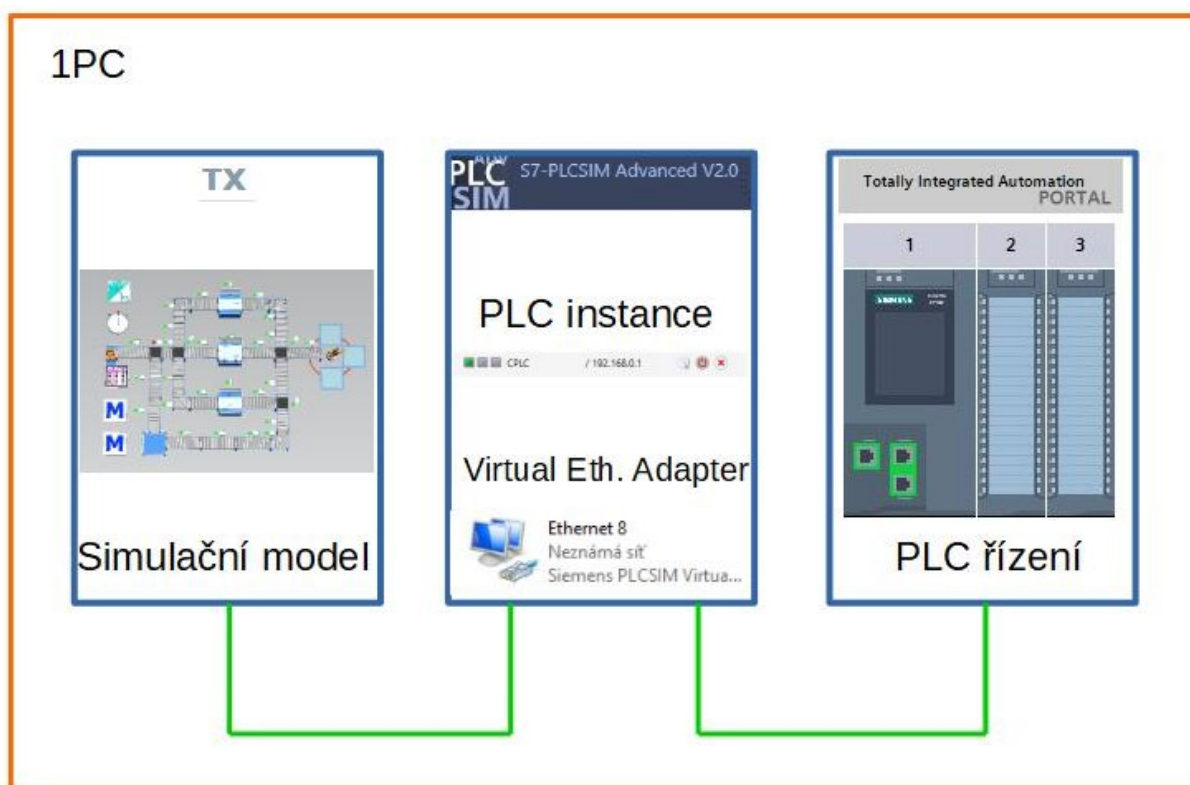
Obr. 6 Obrázek popisující distribuovanou topologii využití programu PLC SIM Advanced [6]

Jak je možné sledovat na obrázku Obr. 7, tato konfigurace bude cílem práce. Virtuální PLC, simulace a program poběží na jednom PC. Propojení s reálnými komponenty a využití reálného Ethernetového adaptéru pro distribuovanou aplikaci není pro tuto práci nyní podstatné.

Využitím programu se očekává dokázat možnost ověření algoritmu PLC, ještě před fyzickou realizací, což by mělo způsobit mnohem efektivnější odstranění chyb. Dále také urychlení fyzického zprovoznění, což znamená úsporu financí. Nebo pokud je nutné linku zprovoznit například během krátkého času odstávky výroby.

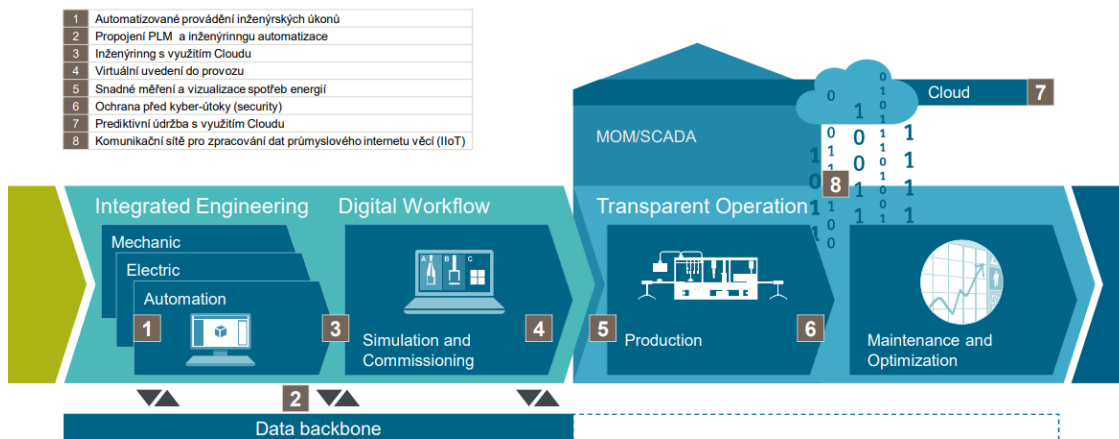
Mezi výhody také patří paralelní provádění inženýrských prací, předcházení chybám v rané fázi vývoje, nižší náklady, lepší příprava uvedení zařízení do provozu, úspora na prototypch zařízení.

Program také dokáže zprostředkovat propojení s velkým výběrem platforem pro co-simulaci. Nejvíce podporované jsou samozřejmě produkty od firmy Siemens z oblasti PLM programů. Například Tecnomatix Proces Simulate a Plant Simulation, SIMIT atd. Program lze dále propojit také s konkurenčními systémy například s vlastní C/C++ aplikací, WinMOD či Matlab Simulink atd.



Obr. 7 Obrázek popisující topologii propojení SW

Program PLC SIM Advanced lze zařadit také mezi nástroj Průmyslu 4.0. Podporuje nové průmyslové automaty, které jsou na Průmysl 4.0 připraveny. Obsahuje také webový server a propojením vrstev počítačově řízené výroby dostáváme model, který můžeme označit jako model pro Průmysl 4.0 Obr. 8.



Obr. 8 Příklad ideální spolupráce systémů a předloha komunikace Průmyslu 4.0 [6]

Podporované PLC jsou pouze S7-1500, ST-1500T(F), S7-1500F, S7-1500C a distribuovaný modul ET200SP(F)CPU.

Shrnutí vlastností

- rychlý start S7-PLCSIM v kompaktním režimu
- v simulačním projektu lze vyměnit zařízení, existující simulační tabulky a záznamy sekvencí mohou být i nadále snadno používány
- záznamy CPU lze importovat jako sekvence
- sekvence lze spustit automaticky na základě spouštěcí podmínky
- sekvence mohou být dočasně zakázány
- distribuovaná zařízení IO lze simulovat v zobrazení zařízení
- simulace a ověřování funkcí regulátoru S7-1500 / ET 200SP
- webový server
- OPC UA
- stopy
- simulace paměťové karty
- diagnostika procesů
- S7-komunikace[7]

Seznámení s tímto nástrojem proběhlo až během tvorby diplomové práce. [20],[21]

5 Návrh části dopravníkového systému ve vybraném CAD prostředí.

5.1 Popis materiálového toku a účel výrobního systému

V úvodu je třeba zmínit, že následující demonstrační výrobní systém byl vytvořen na základě znalostí typických výrobních linek, které modeluje a realizuje firma Taurid Ostrava s.r.o. Jedná se především o dopravníkový systém, který tvoří infrastrukturu výrobním strojům. Jak je zmíněno, navrhovaný layout je demonstrační, přičemž jsou v něm zakombinované části různých výrobních linek, aby výrobní systém dokázal demonstrovat různorodé situace, které mohou u výrobních systémů nastat.

Ke zpracování přitom bude přistupováno jako k reálnému výrobnímu systému se specifikovanými požadavky a cíli, které budou zmíněny v této kapitole. Následující specifikace výrobního systému bude prezentována formou zadavatele.

Finalizační systém lakovny

Účel výrobního systému:

1. Finální kontrola/oprava třech druhů polotovarů
2. Tvorba nových polotovarů
3. Třídění polotovarů

Seznam strojů:

1. Machine1 – provádí kontrolu/opravu polotovaru Part2 nebo Part3
2. Machine2 – provádí kontrolu/opravu polotovaru Part1
3. Machine3 – Provádí lakování polotovaru Part2 na polotovar Part3
4. Buffer – akumulace, zásobník
5. Sorter – provádí třídění podle typu polotovaru

Popis funkce a materiálového toku:

Do výrobní linky vstupují dva polotovary z předchozí části výroby s rozdílnou barvou označené jako Part1 (fialový) a Part2 (zelený). Polotovar Part1 (fialový) pokračuje na stroj Machine2, kde se provede jeho kontrola a v případě zjištění nedostatků v laku proběhne jejich oprava. Určitý poměr polotovaru Part2 (zelený) míří na Machine1, kde se provede jeho kontrola a v případě zjištění nedostatků v laku proběhne jejich oprava. Zbylé polotovary míří na Machine3, kde se polotovar přelakuje na Part3 (modrý) a dále míří na Machine1 nebo Machine2, kde se provede jeho kontrola a v případě zjištění nedostatků v laku proběhne jejich oprava. Všechny polotovary Part1 (fialový), Part2 (zelený), Part3 (modrý) nakonec dorazí do robotické třídičky Sorter, kde jsou roztříděny podle typů polotovarů do skladu Store1 (modrá), Store2 (zelená), Store3 (fialová).

Popis funkčnosti je shrnut do tří receptur, které představují sled výrobních procesů, které mohou nastat.

Receptury:

1. Part1-Machine2-Sorter
2. Part2-Machine1-Sorter
3. Part2-Machine3-Buffer- Machine2 – Sorter

Technické veličiny:

Délka dopravníků: 1-3m dle přiloženého Layoutu Příloha B

Šířka dopravníků: 1m

Akumulace na dopravnících: 1ks, vstupní a výstupní dopravník 4.1, 4.6 max. 6ks

Velikost polotovarů: 0,5x0,4x0,1m (L, W, H)

Velikost strojů: dle přiloženého Layoutu Příloha B

Rychlost dopravníků: 1m/s

Rychlost DP: 1m/s

Předpokládané zrychlení: zanedbatelné, nezahrnovat

Pracovní čas strojů: Machine1, Machine3: 30s; Machine2: 25s

Sorter: 1 pozice (90°) 3s, Line-Store1-Line (180 °) = 6s

Kapacita strojů: Machine1, Machine3: 1ks, Machine2: 4ks

Mean time to repair: 0s

Not ok: 0ks

Pracovní doba: 7h, 213d

Požadovaný takt: 2800ks/den, 596400ks/rok

Vstupní mix: Při zavedení výroby vzniká na vstupu 20s špička se vstupním intervalem 1s, po 20s nastává 65s prodlení a poté se vstupní interval zvyšuje na 5s. Tabulka vstupního mixu je přiložena v Příloha F.

Požadovaný výstup:

Optimalizované vhodné rozvržení dopravníkového systému a strojů tak, aby byla zajištěna dostatečná efektivita pro výrobu 2800ks polotovarů za den. V Příloha B je přiložen návrh uspořádání s ohledem na prostor. Důležité je také mít na zřeteli výše uvedené technické veličiny, přičemž je možné uvažovat o rozšíření některých strojů či vybudování zásobníku. Jestliže nebude s technickými veličinami a navrženou dispozicí možné dosáhnout stanovené výrobnosti, je nutné veličiny navrhnout tak, aby byla výrobnost splněna.

5.2 Návrh dopravníkového systému

Ve většině případů na počátku návrhu existuje představa nebo layout výrobního systému od strojírenské firmy. Cílem je pak co nejmenšími úpravami docílit co nejlepší optimalizace. Není praxí, že by docházelo k návrhu receptury zpracování nebo úpravy v nich. Receptury a sled operací bývá ve většině případů know-how a je velmi obtížné, či dokonce nemožné, na recepturách cokoli měnit nebo upravovat výrobní postup. Jsou případy, kdy je to žádané, ale je to spíše na práci technologa, či výzkumného týmu určovat výrobní proces. Nejlepší možností je poté kooperace mezi technologickým, výzkumným týmem a tvůrci simulace. Výměnnou informací a validací možných úprav technologického procesu se dá dosáhnout rychlého průběhu a dosažení požadovaného výsledku. Je obtížné provádět optimalizaci, pokud nejsou známy možnosti technologického postupu a hranice možností technologie výroby.

Metodika je taková, že se vychází z požadavků a rozmístění layoutu, jako s finálním výrobním systémem. Podle layoutu se vytvoří digitální model výrobního systému a provedou se simulace. Po dosažení požadavků jsou výsledky prezentovány a v případě spokojenosti s výrobností, či bez zjevných úzkých míst nutných optimalizovat, se již navržený layout nemění.

Když ovšem dojde k nenaplnění očekávaných výsledků, vrací se vývoj opět k návrhu layoutu a podle výsledků simulace a analýzy úzkých míst se layout upraví na nový layout v2. Opět probíhá testování, kdy je výstupem jeden z výsledků zmíněný výše. Může znovu dojít ke změně layoutu nebo k finalizaci. Cyklus se opakuje, dokud nedojde k naplnění požadavků.

V případě chybné koncepce výrobního systému může dojít k celkovému novému návrhu layoutu. Záleží především na konkrétních možnostech každého výrobního systému. Každé zadání má specifické možnostmi přípustných zásahů. Například přidání nebo urychlení strojů, dopravníků, zásobníků, úprava prostorové dispozice, přidání nových strojů, úprava vstupní dávky, atd. Tyto individuální možnosti na úpravu jsou u každého výrobního systému odlišné, a je nutné je v případě nesplnění požadavků na výstup stanovit.

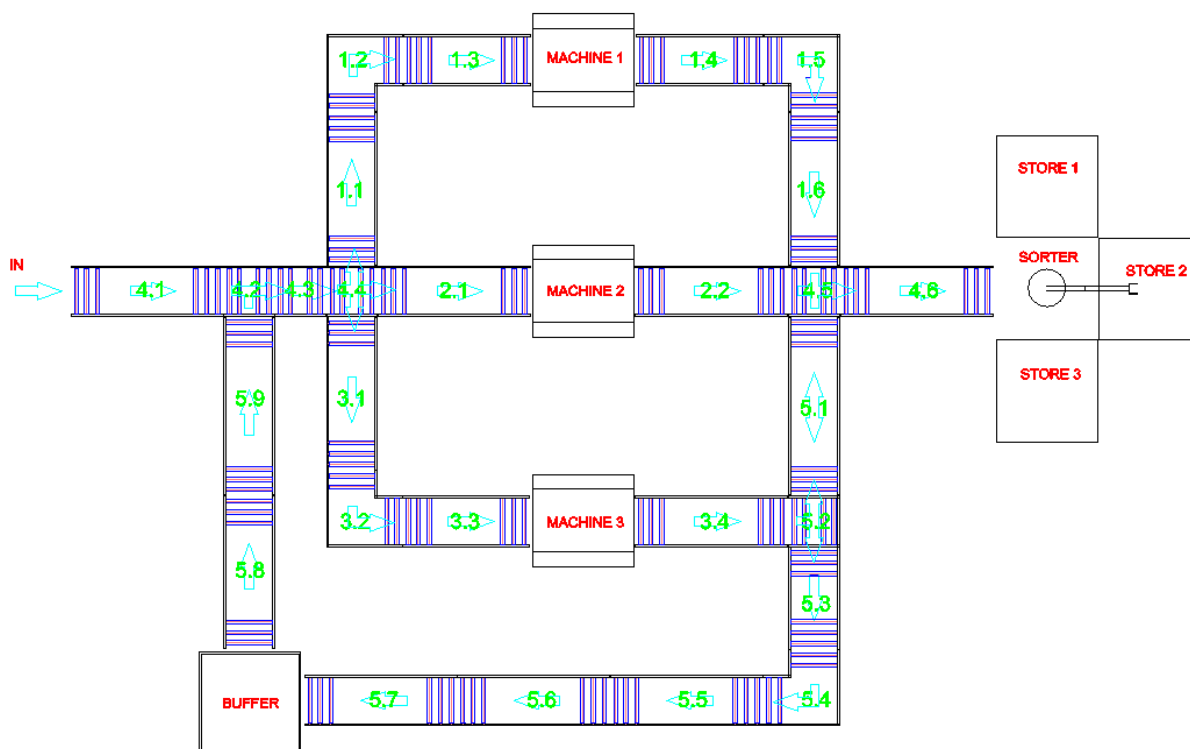
Existuje ale také druhý přístup návrhu systému při nesplnění požadovaného cíle. Není tak častý a přistupuje se k němu většinou v případech, když už není možné dosáhnout výrobnosti s požadovanými parametry nebo jejich dovolenou úpravou. Systém se nedá optimalizovat se stanovenými parametry. Jsou nadefinovány výstupní požadavky a vstupní parametry jsou dosazeny tak, aby byl výstup splněn bez ohledu na možnosti a kritéria výrobního systému. Většinou dochází k různým kombinacím nastavení vstupních parametrů. Kombinace se prezentují nebo probíhá komunikace s technologickým týmem a hledá se nastavení vstupních veličin, které by byly pro výrobní systém a recepturu přijatelné.

Tato práce bude vycházet z výše specifikovaného zadání. Na základě parametrů byl navrhnout Layout výrobního systému, který splňuje výše uvedené požadavky. Layout je umístěn v Příloha B.

Bylo zvoleno číslování dopravníků x. y, kde x označuje technologický celek (sekcí) a y označuje pořadové číslo v rámci tohoto celku.

Sekce 1,2,3 jsou rozděleny z důvodu příslušnosti dopravníků ke strojům 1-3. Dojde-li k poruše nebo k nouzovému zastavení sekce, jsou ostatní sekce schopné fungovat a výpadek jednoho zařízení je vzájemně neomezuje. Rozdělení na sekce umožňuje provoz dílčích částí linky samostatně. Sekce 4 je

společná vstupní a výstupní část. Sekce 5 je zásobníková linie, která také zajišťuje přechod mezi konečnou a počáteční částí výrobní linky.



Obr. 9 Vytvořený Layout v CAD prostředí

V této práci je zpracována technická dokumentace a jsou zde uvedeny všechny potřebné veličiny, které je potřebné k tvorbě simulačního modelu a řídicího programu znát. Není to však v praxi pravidlem. Často se stává, že dokumentace či požadavky jsou velmi obecné nebo nepřesné a jen velmi těžko se z nich tvoří simulační model. Výsledky simulace pak mohou být zkreslené a nemusí odpovídat realitě. Je důležité, aby bylo zajištěno, že digitální model systému bude postaven, či stojí se stejnými technickými parametry (verifikace), jinak simulace i tvorba řídicího systému nebude přesná a očekávané výsledky od výrobního systému nebudou splněny.

Při tvorbě layoutu se dbá na přesné, a co nejdetailnější přenesení reálného systému. Z tohoto důvodu není předpokládána možnost vzniku nepřesností. Layout je ovšem vhodné navrhovat s malou kapacitní rezervou. Tato rezerva slouží především při vzniku špiček výroby, aby nedocházelo k blokování výrobní linky. Je nutná častá komunikace se zadavatelem či dodavatelskými firmami, aby došlo k verifikaci layoutu se skutečnými možnostmi instalované technologie.

Layout byl zpracován ve formátu DWG v programu DraftSight a je přiložen v Příloha B.

6 Návrh a realizace digitálního modelu dopravníkového systému vycházejícího z CAD návrhu

6.1 Návrh a realizace digitálního modelu v Tecnomatix Plant Simulation

Přenesení Layoutu

První fáze realizace je přenesení Layoutu, zhotoveném v předchozí kapitole Příloha B, do programu Tecnomatix Plant Simulation. Je možné volit různé přístupy pro přenesení layoutu do tohoto simulačního nástroje. U malých a nenáročných výrobních systému se přenáší layout pomocí přímého umístování prvků z nabídky Toolbox. Nevýhodou je, že pokud dojde omylem či úmyslně k přesunutí nebo smazání prvků, nedá se akce vrátit nazpět. Nedá se také editovat layout bez licence k softwaru.

Druhá možnost tvorby layoutu je pomocí tabulky. Prostřednictvím metody se z připravené tabulky navedou libovolné atributy do komponenty. Je možné přenést pozici v prostoru, velikost, rychlost, kapacitu, akumulaci atd. Veškeré atributy, které byly definovány, mohou být přeneseny z tabulky, například na základě stisknutí tlačítka.

Komponenty, které je možné v Tecnomatix Plant Simulation používat, je nepřeberné množství. Obecně se komponenty dělí do skupin Material Flow, Fluids, Resources, Information Flows, User interface, Mobile ubnints, User Object, případně dalších méně používaných skupin. V následujících odstavcích budou popsány základní objekty těchto skupin a jejich využití, převážně ty, které byly použity při tvorbě tohoto digitálního modelu.

Material Flow je nejpoužívanější skupinou prvků. Je možné zde najít základní komponenty jako Source, Drain, Line, Converter. SingleProc, DoubleProc.

Source se stará o generování (začátek životního cyklu) MU na základě nastavených parametrů. Může být voleno intervalové generování MU, kde se nastavuje počet prvků a interval generování, může být voleno generování z tabulky na základě časového razítka a další možnosti. Prvek Source bývá umístěn zpravidla na začátku materiálového toku. Prvek Drain je zase umístován na konci materiálového toku, kde končí životní cyklus MU. Prvky disponují statistickými daty, které mohou být sledovány, ukládány nebo vizualizovány. Mimo jiné z prvku Drain může být určen takt simulovaného výrobního systému.

Line, AngularLine, Converter, PickAndPlace jsou prvky, které zajišťují materiálový tok a tvoří se z nich cesty materiálového toku. Nejdůležitější parametry těchto komponent jsou délka, šířka, rychlost, která se automaticky přepočítá na čas pobytu nebo čas pobytu, který se přepočítá na rychlost. Dále lze nastavovat zrychlení a zpomalování, velikost mezery mezi MU, kapacita dopravníku a další atributy. Především pomocí komponenty Converter se pak dá řídit materiálový tok, ale lze k tomu použít i všechny výše zmíněné komponenty.

SingleProc, DoubleProc jsou prvky, které představují proces v materiálovém toku. Nejdůležitějším parametrem je zde procesní čas a kapacita. V těchto prvcích lze snadno MU graficky měnit či animovat.

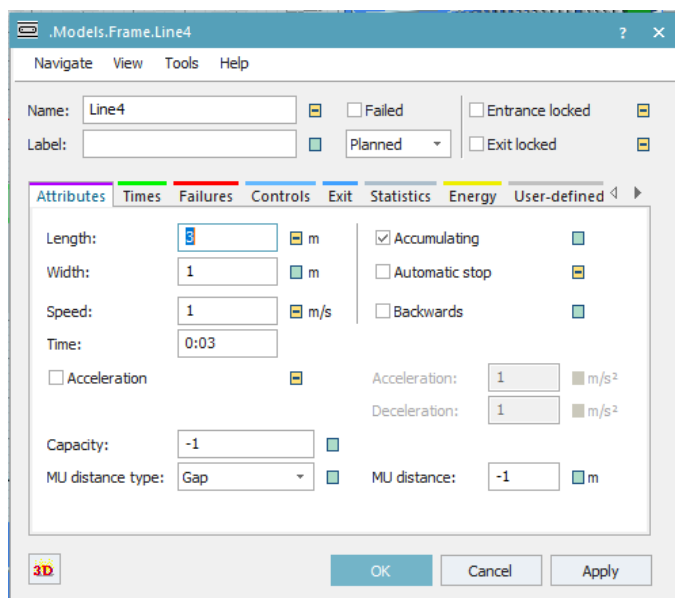
Connector slouží k vzájemnému spojení komponent a určení materiálového toku. Při umístění komponent vedle sebe se automaticky propojí pomocí Connectoru, jestliže však bude materiálový tok

rozdělován, nebo modifikován oproti automatickému propojení, musí být komponenta Connector manuálně vložena. Při tvoření DP (decision point - křižovatka), o tom více až v kapitole algoritmy, musí být provedeno napojení do veškerých směrů, kterými může materiálový tok proudit. V nastavení komponenty je zvolen příslušný exit control. Ten směřujeme materiálový tok, na základě podmínek, určeným směrem. Směr musí být připojen komponentou Connector, jinak na něj směřovat nelze.

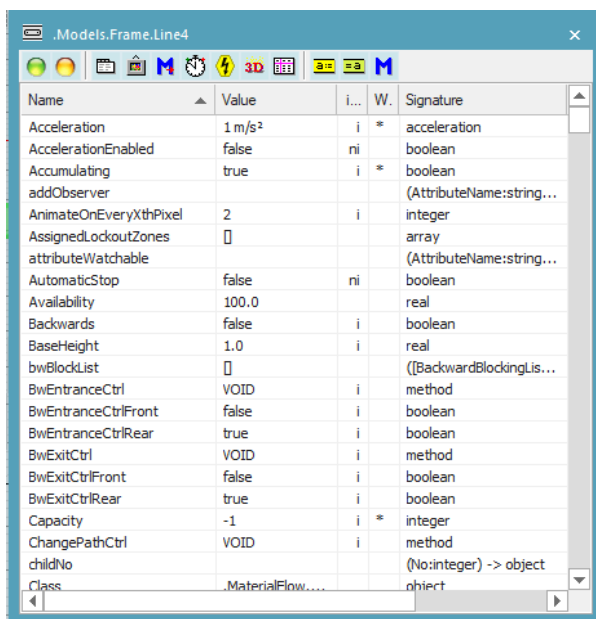
Store, Buffer jsou komponenty, kde je možné skladovat nebo na nějaký čas odkládat MU. Základním parametrem je kapacita, případně u komponenty Buffer čas, za jaký má MU odkladiště opustit.

User Interface je další záložka v nabídce Toolbox. Prvky, které záložka obsahuje, mohou být použity k řízení simulace. Důležitými prvky je Methods, Table a tak dále. V této práci je z knihovny použit hlavně prvek PLCSIM, který zprostředkovává výměnu dat s programem TIA Portal.

Mobile units obsahuje prvky MU Entity (MU), Container nebo AGV, kde je důležité nastavení velikosti případně váhy MU, kapacity palety a podobně.



Obr. 10 Dialogové okno pro základní nastavení objekt Line



| Name | Value | i... | W. | Signature |
|------------------------|--------------------|------|----|--------------------------|
| Acceleration | 1 m/s ² | i | * | acceleration |
| AccelerationEnabled | false | ni | | boolean |
| Accumulating | true | i | * | boolean |
| addObserver | | | | (AttributeName:string... |
| AnimateOnEveryXthPixel | 2 | i | | integer |
| AssignedLockoutZones | [] | | | array |
| attributeWatchable | | | | (AttributeName:string... |
| AutomaticStop | false | ni | | boolean |
| Availability | 100.0 | | | real |
| Backwards | false | i | | boolean |
| BaseHeight | 1.0 | i | | real |
| bwBlockList | [] | | | ([BackwardBlockingLis... |
| BwEntranceCtrl | VOID | i | | method |
| BwEntranceCtrlFront | false | i | | boolean |
| BwEntranceCtrlRear | true | i | | boolean |
| BwExitCtrl | VOID | i | | method |
| BwExitCtrlFront | false | i | | boolean |
| BwExitCtrlRear | true | i | | boolean |
| Capacity | -1 | i | * | integer |
| ChangePathCtrl | VOID | i | | method |
| childNo | | | | (No:integer) -> object |
| Class | .MaterialFlow.... | | | nhirt |

Obr. 11 Attributes and methods objektu Line

Ve výpisu Attributes and methods Obr. 11 se nachází veškeré parametry a metody, které lze v Tecnomatix Plant Simulation ve spojení s danou komponentou nastavovat a používat.

Přenesení materiálového toku

Dalším krokem po přenesení Layoutu do prostředí Tecnomatix Plant Simulation je určení materiálového toku. Je důležité pomocí komponenty Connector zajistit správnou sekvenci jednotlivých prvků. V případě rozdělování materiálového toku musí být propojeny veškeré směry pomocí komponenty Connector.

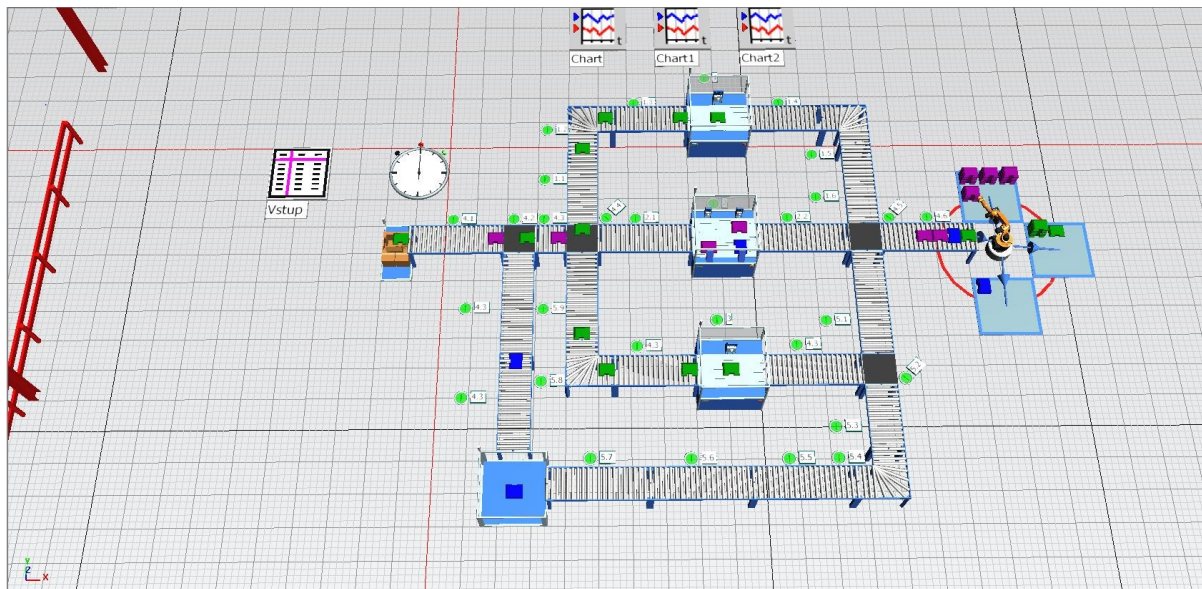
Je opět nepřehledné množství možností, jak lze v Plant Simulation materiálový tok řídit. Nejzákladnější komponentou je buď obyčejný Line, nebo Conveyor.

U komponenty Line, v případě, že na výstup budou připojeny dva Connectory lze v záložce Exit volit z přednastavených strategií rozhodování například cyklické, náhodné, na základě počtu MU, které míří na daný cíl, podle atributu, který je určen a z mnoha dalších. V záložce Controls je možné provádět metody a směřování pomocí kódu v SimTalk, ale o tom více až v kapitole využití algoritmy.

Komponenta Converter je přímo uzpůsobena k rozdělení materiálového toku. Hned na úvodní stránce v záložce Atributes je možné volit strategii pro řízení toku na základě mnoha kritérií. V této práci se řízení provádí pomocí vlastní metody, která určuje daný směr. Komponenta má uzpůsobené příkazy pro SimTalk. Tím usnadňuje směřování, na rozdíl od komponenty Line. Je tady také dobře zpracována grafická animace odbočení, která je kontinuální. Na rozdíl od využití komponenty Line jako DP, kdy dojde při odbočení ke skoku z jedné komponenty na druhou, na základě středového bodu MU. Animace přechodu poté vypadá jako chybňá.

6.2 Popis funkcionality

V této kapitole bude popsán princip fungování navrženého systému v Tecnomatix Plant Simulation V14.



Obr. 12 Navržený výrobní systém v programu Tecnomatix Plant Simulation

Na vstupu výrobního systému, dopravník 4.1, vstupují dva polotovary Part1 (fialový), Part2 (zelený). MU vstupují z komponenty Source, která generuje MU na základě tabulky Vstup. V této tabulce je v prvním sloupci Delivery Time časové razítko, které určuje čas vygenerování polotovaru. Ve druhém sloupci tabulky je typ generovaného polotovaru. Třetí sloupec Number udává, kolik kusů polotovarů se má vygenerovat v daný čas. Je možné vytvořit další sloupce s atributy, které mohou být využívány při řízení. V tomto případě by mohl být přidán atribut barva a podle něj být model řízený. Vstupní mix ale neobsahuje velké množství prvků, proto je model řízen pomocí názvu MU.

Byl zvolen vstupní mix zadaný pomocí tabulky. Tabulka přehledně zobrazuje vstupní sekvenci a firmy mívají často tyto informace ze skenerů na počátku výroby. Umožňuje také jednoduchou změnu a importování jiného výrobního mixu a přesné informace o něm. Vstupní mix lze realizovat také náhodně nebo pomocí pevných intervalů. Tabulka určuje přesnější vstupní intervaly, které se mohou v čase měnit. Tabulka byla vytvořena ve specifikaci se 100 prvky a je dostupná v simulačním modelu UsersObject.Vstup. Také je přiložena samostatně Příloha F, Příloha G.

| .Models.Frame.Vstup | | | | | |
|---------------------|---------------|------------|---------|--------|-----------|
| 0.0000 | | | | | |
| | time | object | integer | string | table |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| string | Delivery Time | MU | Number | Name | Attrib... |
| 1 | 0.0000 | .MUs.Part1 | 1 | | |
| 2 | 7.0000 | .MUs.Part2 | 1 | | |
| 3 | 14.0000 | .MUs.Part1 | 1 | | |
| 4 | 21.0000 | .MUs.Part2 | 1 | | |
| 5 | 28.0000 | .MUs.Part1 | 1 | | |
| 6 | 35.0000 | .MUs.Part2 | 1 | | |
| 7 | 42.0000 | .MUs.Part1 | 1 | | |
| 8 | 49.0000 | .MUs.Part2 | 1 | | |
| 9 | 56.0000 | .MUs.Part1 | 1 | | |
| 10 | 1:03.0000 | .MUs.Part2 | 1 | | |

Obr. 13 Tabulka vstupního mixu v simulačním modelu

Polotovary pokračují přes první křižovatku 4.2 pouze směrem na další křižovatku 4.4. Na této křižovatce veškeré polotovary Part1 (fialový) pokračují na dopravník 1.1 pro kontrolní stroj Machine2. Polotovary Part2 (zelené) se v poměru 1:1 rozdělují mezi dopravníkem 4.1 pro kontrolní stroj Machine1, a dopravníkem 3.1 pro lakovací stroj Machine3.

Machine3 zajišťuje změnu typu polotovaru na Part3 (modrý) který na křižovatce 5.2 odbočuje na dopravník 5.3 a s využitím Bufferu se vrací na začátek výrobního cyklu, křižovatku 4.2. Následně pokračuje znovu na křižovatku 4.4. Zde pokračuje rovněž na kontrolní stroj Machine2. Tady probíhá kontrola jako u ostatních polotovarů.

Výstupní dopravníky od kontrolních strojů 1.6 a 2.2 se pak sbíhají do křižovatky 4.6, kde polotovary pokračují k třídícímu robotu Sorter. Zde probíhá roztřídění a uskladnění dle typu polotovaru do Store1 (fialová), Store2 (zelená), Store3 (modrá).

6.3 Využité algoritmy

K tvorbě řídicích algoritmů lze přistupovat dvěma způsoby. Volba záleží především na tom, jestli je předpokládán budoucí spojení s řídicí aplikací v programu TIA Portal nebo nikoli.

V případě, že se nepředpokládá budoucí propojení pro testování algoritmu PLC, je s největší pravděpodobností voleno řízení na základě parametrů (cílů). Řešení je založeno na přidělování následujících cílů do parametrů MU. Při vygenerování má MU parametr cíl například Machine1. Vytvoří se tabulka cílů, kde je uvedeno, jak se má MU na křižovatce (DP) chovat. Při vstupu MU na DP je vyvolána metoda, která náhledem do tabulky určí materiálový tok daného MU. S tím přichází množství výhod. Například možnost dynamicky měnit cíl MU. Tím se dá zajistit rozdělování MU na základě front před cílovými stroji. Při vypnutí stroje se snadno přesune materiálový tok mimo něj a tak podobně. Algoritmus i programátor má přehled o každém MU v systému. Je možné sledovat historický sled operací a tím docílit vyladění modelu. Také je to časově méně náročné řešení.

Jestliže je ale usilováno o pozdější propojení simulace s řídicím algoritmem PLC, je vhodné tomu algoritmus přizpůsobit. Nemůže být využita tabulka cílů, protože vše musí být řízeno v budoucnu z PLC. Algoritmus je nejvhodnější koncipovat tak, že na vytvořených senzorech vzniknou události. Tyto události spustí vždy část kódu, kde bude probíhat řízení adekvátní reakce. Takovéto řízení se pak dá snadněji transformovat pro testování algoritmu PLC.

Je však možné použít obě metody, u první bude ale pracnější úprava kódu pro napojení na PLC. Dojde k úpravě celého algoritmu řízení, který se bude muset nahradit algoritmem pro přeposílání dat a jejich vizualizací. Druhá metoda umožňuje časově méně náročnou úpravu algoritmu řízení, ale úprava také musí nastat. Atributy podmínek se musí upravit a nahradit reakcí na stavy PLC. Rozhodnutí podmínek musí proběhnout v PLC. Není ale nutné upravovat veškeré algoritmy.

Dopravníky (Line)

Dopravníky v digitálním modelu jsou řízeny automaticky, kdy je nastavena kapacita dopravníku na 1 polotovar. Vstupní dopravník 4.1 a výstupní dopravník 4.6 jsou akumulací s kapacitou omezující pouze velikost dopravníku. Tyto dopravníky slouží jako vyrovnávací zásobníky.

Polotovary (MU)

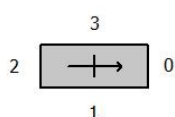
Polotovary jsou identifikovány na základě jména a každý polotovar má jinou barvu Part1 (fialová), Part2 (zelená), Part 3(modrá)

Křižovatky (DP)

Křižovatky jsou řešeny komponentou Converter, která je přímo určena k řízení materiálového toku. Ve strategii rozhodování komponenty je metoda, která se spustí přítomností polotovaru na dopravníku. V metodě se nastaví požadovaný výstupní směr příkazem:

```
?.ExitForNextEnteringMU :=x
```

Místo proměnné x se uvede číslo 0-3 dle požadovaného výstupního směru viz Obr. 14



Obr. 14 Směry komponenty Converter získané z nápovědy v programu Tecnomatix Plant Simulation

Přiřazování směrů, využitých při řízení, probíhá na základě jména polotovaru (MU). V metodě jsou napsány tři podmínky, každá pro jedno jméno polotovaru, případně každá pro jeden výstupní směr. Následující podmínka je jedna ze tří zmíněných, kdy se na základě jména polotovaru Part1 přiřadí výstupní směr komponenty Converter na 0.

```
if @.Name ="Part1" then
?.ExitForNextEnteringMU := 0
end
```

Kdyby nebylo potřeba propojení s programem TIA Portal, komponenta umí směr jednoduše přiřadit podle tabulky. Do tabulky by se zavedla jména polotovarů a požadovaný výstupní směr číslem, viz Obr. 14. Na základě této jednoduché tabulky by Converter určoval směr. V případě propojení s PLC tento způsob nelze použít a tabulka by se musela převádět do metody.

Na křižovatce 4.4 je navíc přidán algoritmus, který zajišťuje rovnoměrné rozdělení MU Part2 (zelený) mezi výstupy 1 a 3 komponenty Converter.

```
if @.Name ="Part2" and .InformationFlow.a=1 then
?.ExitForNextEnteringMU := 1
.InformationFlow.a :=2
else
if @.Name ="Part2" and .InformationFlow.a=2 then
?.ExitForNextEnteringMU := 3
.InformationFlow.a :=1
end end
```

Do parametru podmínky je přidána proměnná: a, která pokud se provede směřování na výstup 1, se nastaví na hodnotu 2. Když dorazí totožné MU, nasměruje se tentokrát směrem 3, protože byla splněna podmínka s proměnnou a=2. V podmínce se opět nastaví proměnná a=1 a cyklicky tímto způsobem probíhá směřování. Bylo by možné opět použít atribut, který by určoval již od počátku, kterým výstupem se má MU směřovat, ale vzhledem k propojení je tento způsob řízení neefektivní.

Stroje (Machine)

Kontrolní stroje Machine1 (singleproc) a Machine2 (doubleproc) nemají speciální řízení. Jsou řízeny pomocí parametru procesního času, kde se nastaví časová hodnota. Tecnomatix Plant Simulation polotovary ve strojích zdrží po nastavený čas.

Machine 3 je výrobní (lakovací) stroj, ve kterém probíhá změna z polotovaru Part2 (zelený) na polotovar Part3 (modrý). Na výstupu Machine3, po uběhnutí procesního času, je vyvolána následující metoda, která odstraní polotovar Part2 (zelený) a nahradí jej polotovarem Part 3 (modrý).

```
@.delete
```

```
.MUs.Part3.create(Machine3)
```

```
Machine3.cont.move
```

Robot (Sorter)

Robot je řízen na základě tabulky cílů a časů manipulací, kde pro každý cíl je nastaven příslušný čas manipulace.

| | A4_6 | Store2 | Store1 | Store3 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Full/Empty | 4.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Default Angle | 4.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| A4_6 | 0.0000 | 4.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Store2 | 4.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| Store1 | 2.0000 | 2.0000 | 0.0000 | 4.0000 |
| Store3 | 2.0000 | 2.0000 | 4.0000 | 0.0000 |

| | Name | Angle |
|---|--------|--------|
| 1 | A4_6 | 180.00 |
| 2 | Store2 | 270.00 |
| 3 | Store1 | 0.00 |
| 4 | Store3 | 90.00 |

Obr. 15 Vlevo tabulka (matice) polohovacích časů, vpravo tabulka cílů s úhlem natočení robota

Zásobník (Buffer)

Funguje a řídí se podobně jako Machine1, 2. Je využíváno procesního času pro zdržení polotovarů. Je také nastavována kapacita zásobníku.

Sklad (Store)

Sklad se řídí pomocí vnitřního Algoritmu PS. Základním parametrem je opět procesní čas. Přesnou pozici ve skladu určuje PS.

Správná syntaxe kódu byla čerpána z nápovědy v Tecnomatix Plant Simulation [10], fóra PLM komunity[1], od Steffen Bangsow. [11] [12], dále pak [19].

7 Realizace a vyhodnocení zvolených simulací pomocí vytvořeného simulačního modelu.

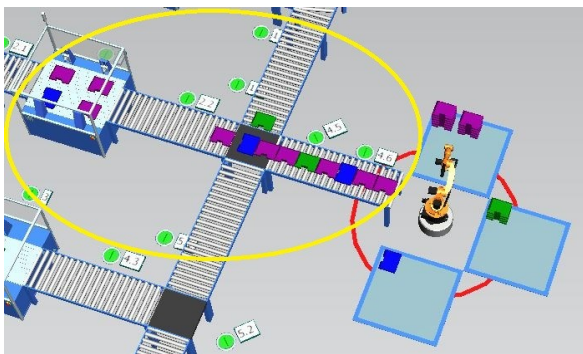
Realizace simulace

Realizace je z velké míry popsána v předchozí kapitole. Simulační běhy byly realizovány spolu s tvorbou digitálního modelu. Docházelo k úpravám kódu a dispozice tak, aby bylo dosaženo co největší propustnosti. Byla identifikována následující úzká místa.

7.1 Úzká místa – bottle neck

Sorter

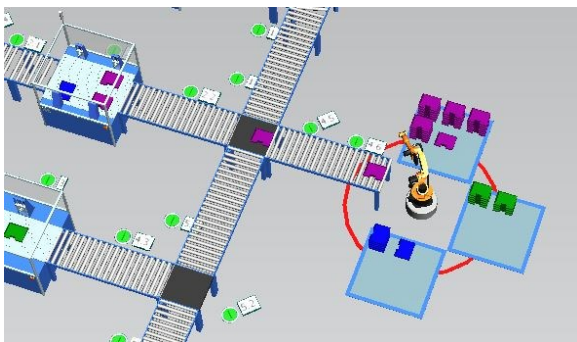
V důsledku pomalé doby procesu uskladnění a malé kapacity akumulčního dopravníku (bufferu) 4.6 zde vzniklo úzké místo, které blokuje výstup Machine1. Obr. 16



Obr. 16 Úzké místo Sorter

Nejjednodušším opatřením pro eliminaci úzkého místa je urychlení polohovacího času robota (Sorteru). Ověřením parametrů robota bylo zjištěno, že je možné snížit dobu polohování ze současných 3s na 2s. V případě, kdyby urychlení robota nebylo možné, případně dostatečně účinné, bylo by nutné zvětšit akumulční dopravník (buffer) 4.6, nebo zvolit hardware akumulaci, přidat další robotické pracoviště atd., aby bylo dosaženo odstranění úzkého místa.

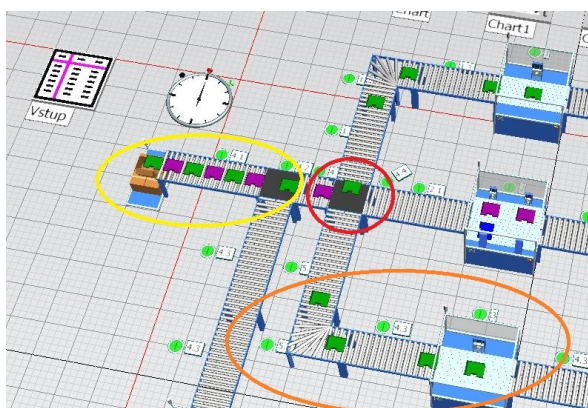
Urychlení polohovacího času je zaneseno do digitálního modelu. Optimalizací se dosáhlo odstranění úzkého místa Obr. 17



Obr. 17 Odstranění úzkého místa Sorter

Křižovatka 4.2, Křižovatka 4.4, Machine1, Machine3

Z prvotního pohledu by mohly být za úzká místa označeny křižovatky 4.2 a 4.4 (žlutý a červený ovál na Obr. 18). Je patrné, že se před nimi tvoří fronta. Je však vždy důležité danou situaci analyzovat. Úzká místa nejsou křižovatky 4.2 a 4.4 ale stroje Machine1 a Machine3. Všechny dopravníky před těmito stroji, které slouží jako buffery, jsou zaplněné (oranžový kruh na Obr. 18). Křižovatka 4.4 směřuje zelené MU směrem na Machine1. Dopravník 1.1 je ale obsazený, tak zde MU zastaví a zablokuje tak křižovatku 4.2. Lze také sledovat, že Machine3 má jednu volnou pozici, ale z důvodu blokace křižovatky 4.2 ji není možné obsadit. Sledem těchto příčin vzniká fronta na dopravníku 4.1 (žlutý kruh na Obr. 18). Úzkými místy tedy nejsou křižovatky 4.2 a 4.4 ale procesní čas strojů Machine1 a Machine3.



Obr. 18 Úzká místa křižovatky 4.2, 4.4, Machine1, Machine3

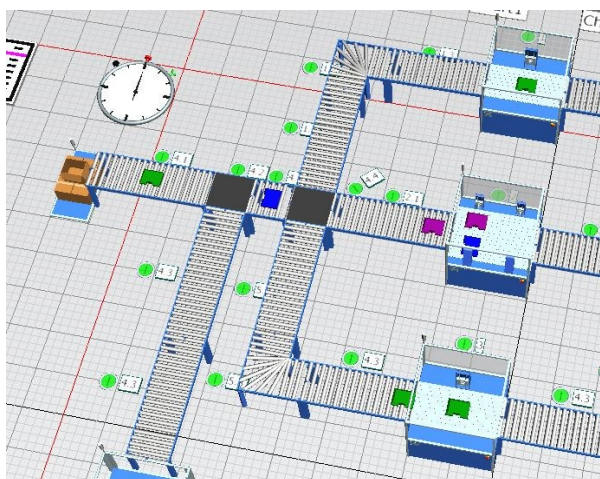
Opět nejjednodušším opatřením pro eliminaci úzkého místa by bylo urychlení procesních časů strojů Machine 1 a 2. Toto řešení však ve většině případů není možné. Výrobní stroje bývají zpravidla optimalizovány a snížení procesního času není možné. Další možností by bylo rozšíření stávajících strojů o nové pozice do podobného stavu, jako je navrhnut stroj Machine2. Dále by se dalo provést přidání samostatných nových strojů do výrobního procesu, a tím docílit snížení procesního času například na polovinu. Není ale pravidlem že přidání stroje se zvýší takt výrobní linky o výrobnost dílčího stroje. Takový příklad byl řešen v mé bakalářské práci, kdy přidání druhého ramena jeřábu mořící linky ve výsledku nezpůsobilo zvýšení výrobního taktu linky o polovinu.[13]

Úprava nebo dodání nových výrobních strojů je často velmi nákladná záležitost. Další možný způsob odstranění úzkého místa bez nutné investice, by bylo zvětšení bufferu (kapacity dopravníku) před stroji Machine1 a Machine3. Aktuální velikost bufferu před např. Machine 3 je 3ks polotovaru. Rozdělením dopravníků 3.1 a 3.3 na 3 samostatné dopravníky by se dalo buffer zvětšit z 3 na 7 pozic. Bylo by možné také zkusit prosimulovat variantu ze software akumulací, kdy by se skupina polotovarů na dopravníku shromáždila po 3 a až po dosažení kapacity dopravníku by celá skupina pokračovala dále. V této variantě by nebyla nutná žádná mechanická úprava zařízení. Další možností by bylo vybudování samostatného Bufferu jako v případě sekce 5.

V tomto případě ale nebude žádná z těchto optimalizací potřebná. Vstupní mix je nadhodnocený a jedná se o peak. V případě bezproblémového zpracování by lakovna musela být navržena na takt přibližně 700ks/h. Řešení vyžaduje buď velký vstupní buffer, který vzniklý vstupní takt pokryje nebo rovnoměrnější rozložení vstupní dávky. Peak může způsobovat velké množství faktorů. Například je-li

předřazen stroj, který pracuje v dávkách například pec nebo mořící linka, která zpracovává velké množství polotovarů v totožném čase. Příčina může být logistická, na vstup se dostaví paleta a najednou se vyloží. Další možností je lidský faktor, motivován například úkolovou mzdou a podobně. Jak už bylo zmíněno, nejčastěji je možné peak odstranit vhodným bufferem. Například dlouhým dopravníkem, meziskladem, odkladištěm, skladovacím strojem a podobně.

V tomto případě byla schválena změna vstupního mixu. Původní vstupní mix Příloha F byl nahrazen novým, s pravidelnými vstupními intervaly 8s Příloha G. Před lakovnou je také umístěn dlouhý dopravník, který slouží jako vyrovnávací buffer. Na Obr. 19 je patrná eliminace úzkých míst, způsobená úpravou vstupního mixu.



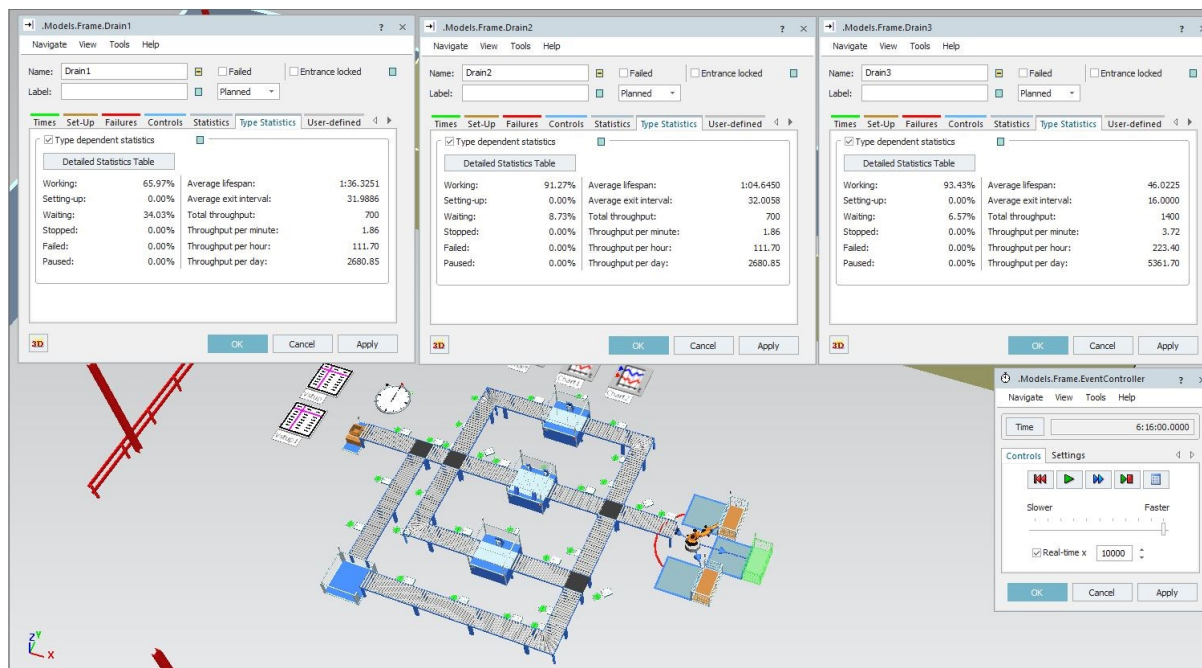
Obr. 19 Úprava vstupního mixu odstranění úzkých míst křižovatka 4.2, 4.4, Machine 1,3

Úzká místa křižovatky 4.2, 4.4 a především Machine1 a Machine3 jsou označeny jako potenciální úzká místa. Projeví se v případě, pokud dojde ke zvýšení taktu lakovací linky.

7.2 Vyhodnocení simulací

Z provedených simulací vyšla výše zmíněná úzká místa, která se optimalizovala. Testování a prezentace probíhá na vstupním mixu se 100 kusy polotovarů. Pro vyhodnocení taktu linky je takto malý vzorek dat problematický. Velkou roli ve výsledcích hraje start a stop výroby, kdy výkonnost klesá. Dále se může stávat, že se úzká místa projeví až po nějaké době fungování.

Pro test výrobnosti byl vstupní mix Příloha G rozšířen na 2800 prvků, které má lakovací linka zpracovat za 7h. Prvky Store byly nahrazeny prvky Drain z důvodu neomezené kapacity a podrobnější statistiky.



Obr. 20 Výsledky výstupů výrobní linky za 6:15:0

Všech 2800 polotovarů bylo zpracováno za 6 hodin a 15 minut. Bylo dosaženo požadovaného výrobního taktu linky 2800ks/7h. Ze statistiky Obr. 20 lze odečíst další hodnoty, například procentuálního vytížení, výrobnost za minutu, hodinu, den, počet odbavených polotovarů, průměrný čas pobytu polotovaru v systému atd.

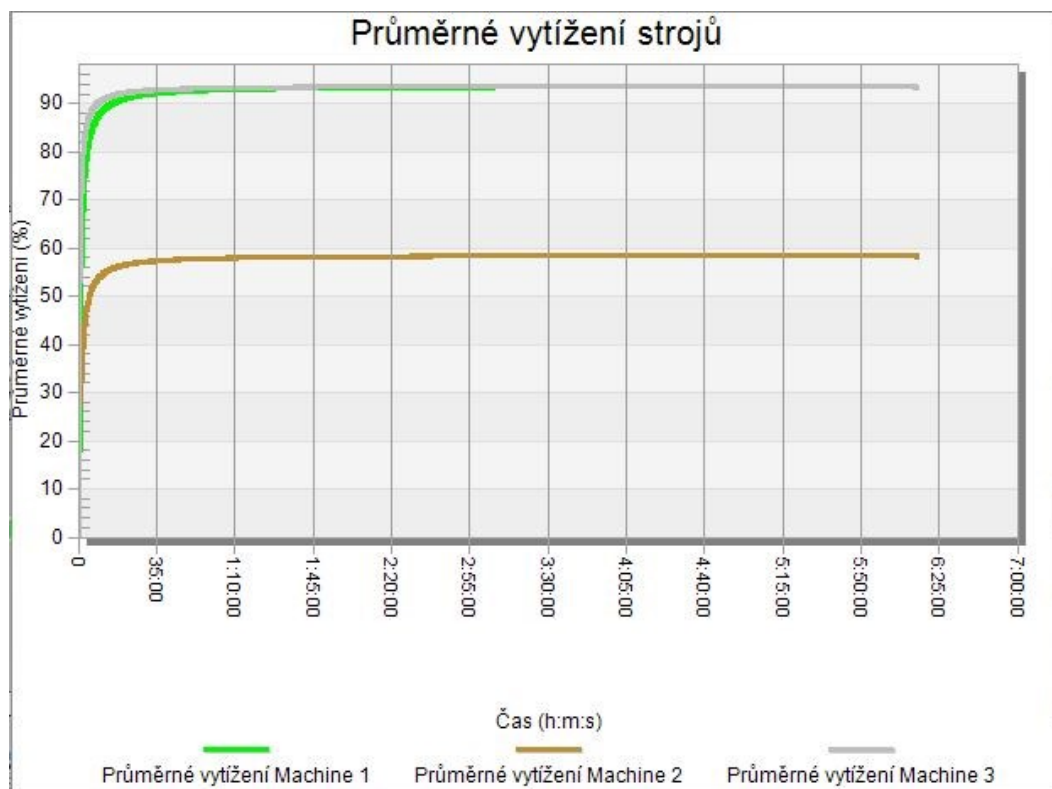
Výrobnost za hodinu na konci výrobního systému je pro Drain1 a 2 (Store1 a 2) 111,7 ks a pro Drain3 (Store3) 223,4ks. Průměrná výrobnost celého systému za hodinu je tedy 446,8ks.

Výrobnost lakovací linky při 7h provozu je poté 3127,6ks. Což splňuje a převyšuje požadavek na takt 2800ks/7h.

Byly splněny podmínky zadání, lakovací linka má navíc rezervu ve výrobnosti 11,7%. Jedná se o ideální nastavení pro výrobnost 2800ks/7h. Rezerva výrobnosti je vyhrazena pro poruchové stavy a nutnou údržbu linky v pracovním cyklu.

Z následujícího grafu Obr. 21 lze odečíst průměrné vytížení strojů v čase. Křivky vytížení strojů Machnie1 a Machine3 jsou téměř totožné. Za to může fakt, že stroje mají stejné dlouhý pracovní cyklus a na každý ze strojů je směřován stejný počet polotovarů. V úvodu se křivky nepřekrývají, to je způsobeno tím, že je Machine3 zásobeno polotovarem jako první. Během přibližně 3h se křivky vyrovnají na stejném vytížení. Průměrné vytížení 95% poté značí výše zmíněný výskyt potenciálního úzkého místa v kapacitě strojů Machine1 a Machine3.

Průměrné vytížení Machine2 60% by umožňovalo koncipovat zařízení se 3 pozicemi, je to ale na zvážení. Zařadilo by se tím na seznam potenciálních úzkých míst, kdy při zvýšení výrobního taktu nebo výkyvem vstupní dávky by zde úzké místo vzniklo, a docházelo by k tvorbě front a omezování produkce. Zařízení je také kompaktní a není ekonomicky výhodnější pořízení stroje se 3 pozicemi.



Obr. 21 Graf průměrného vytížení strojů

Není zde potřebné tvořit samostatný dokument s popisem řízení algoritmu PLC. Veškeré využití algoritmy jsou zmíněny výše.

8 Demonstrace využití vytvořeného modelu pro testování řídicích aplikací s pomocí nástroje PLCSIM Advanced.

8.1 Propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal

Důvodů, proč využít propojení programů je několik. Tím hlavním je virtuální zprovoznění, zajistit stejné chování reálného systému, jak bylo navrženo v simulaci. Ověřit totožné chování algoritmu digitálního modelu a algoritmu PLC. Simulační model poté umožňuje odladění PLC programu ještě před fyzickou realizací, což by mělo způsobit odstranění chyb v rané části vývoje, urychlení zprovoznění při uvádění do provozu, úsporu na prototypch zařízení atd.

Je také možné simulovat libovolnou situaci bez možnosti vzniku jakýchkoli škod. Urychlením simulace je možné otestovat chování algoritmu PLC na velkém časovém vzorku za krátký čas. Školení operátorů je možné provést před fyzickou realizací. Operátor může ovládat simulační model například pomocí virtuálního HMI a sledovat reakce systému.

Na simulačním modelu lze také testovat umístění snímačů pro dosažení větší přesnosti řízení a případným přesunutím, nebo změnou účelu snímání lze docílit zjednodušení algoritmu. Odhalení špatného fyzického řešení v rané části vývoje snižuje investiční náklady

Metodický postup

- vytvoření digitálního simulačního modelu, optimalizace, popis využitých algoritmů řízení, text, diagram atd.
- propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal
- vytvoření řídicích algoritmů PLC na základě algoritmů využitých v simulaci
- úprava řídicích algoritmů simulačního modelu
- vytvoření nového algoritmu simulace, zabývající se pouze vznikem a zprostředkováním dat
- ověření řídicích algoritmů PLC

Postup propojení programů Tecnomatix Plant Simulation a Tia Portal

Digitální model a jeho popis byl vytvořen v předchozích bodech. Propojení software je podrobně popsáno v Příloha A. Zde jsou shrnuty hlavní body propojení.

1. Založení projektu v programu TIA Portal. Program PLCSIM Advanced podporuje 2. typy PLC a to je S7-1500 a distribuovaný typ ET200sp. Projekt je potřeba založit s jedním z nich a přidat potřebné I/O karty.
2. V TIA Portalu je důležité povolit podporu simulace v průběhu kompilace bloků. Bez tohoto kroku by se nepodařilo program nahrát do virtuálního PLC.
3. Vytvoření instance virtuálního PLC v PLCSIM Advanced.

4. V TIA Portalu provést nahrání programu do virtuálního PLC. V řídicím programu je potřeba definovat alespoň jeden tag, aby bylo možné spárování s Tecnomatix Plant Simulation.
5. Tecnomatix Plant Simulation využívá pro komunikaci funkční blok PLCSIM_Advanced. Tady se nastaví jméno instance a zvolí se možnost Activate. Tímto se naváže komunikace s PLC. Tagy se importují do tabulky Items. V tabulce Item values se skrývá podobná tabulka, která zobrazuje aktuální stavy sdílené mezi programy.
6. Zápis a čtení dat probíhá nastavením hodnot v tabulce Items pomocí metod nadefinovaných jazykem SimTalk v Tecnomatix Plant Simulation.

8.2 Řízení aplikace Tecnomatix Plant Simulation pomocí algoritmu v TIA Portal s využitím nástroje PLCSIM Advanced

Algoritmus PLC musí vzniknout na základě algoritmu samostatné simulace, která je vytvořena v první fázi návrhu. Programátor PLC musí dostat podrobný popis algoritmů řízení využitých v simulačním modelu. Na základě popisu pro tvorbu algoritmů PLC v kapitole 6.3, a digitálního modelu byl tvořen algoritmus PLC v programu TIA Portal.

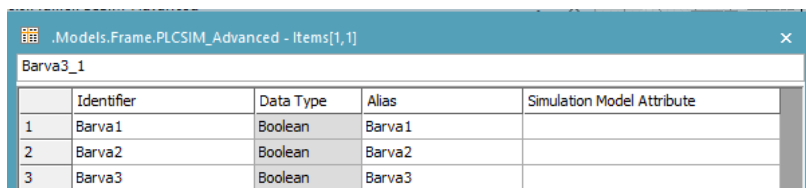
Nejprve je potřeba určit způsob řízení a zvolit hardwarové vybavení linky (snímače, pohony atd.), které budou jednotlivé kroky řízení zajišťovat. Tady vzniká nutnost spolupráce ještě s projektantem elektro části zařízení. Musí být především jasný způsob výměny informací, datový typ vstupních a výstupních signálů a jejich počty. Na základě informací je vytvořena tabulka vstupů a výstupů s popisem funkce v TIA Portalu. Po importu tagů do Tecnomatix Plant Simulation je stejná tabulka s totožnými informacemi dostupná v simulačním programu a je využita k řízení simulace.

Komunikace mezi programy

Předávání dat mezi programy Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal je řešeno pomocí tabulky tagů. Na straně TIA Portalu je přístup a algoritmy naprosto totožné jako by se jednalo o fyzické zařízení. Na straně simulace v Tecnomatix Plant Simulation jsou potřebné změny v řízení. Tento simulační program není primárně určen k ověřování algoritmů řízení PLC. Z tohoto důvodu jsou vyžadovány úpravy algoritmu, které se budou primárně starat o simulaci vstupních a výstupních podnětů a ne o řízení systému.

Algoritmy simulace jsou převážně jednoduché. Hlavní úlohou je zprostředkování I/O dat pro algoritmus PLC. Nejdůležitější jsou tedy v algoritmu simulace příkazy, které umí zapisovat a číst data z tabulky signálů obsažené v komponentě PLCSIM_Advanced, která je přenášena mezi Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portalem.

Pro zápis a vyčtení hodnot z tabulky se využívají příkazy v SimTalk. Nejprve je nutné napsat jméno komponenty PLCSIM_Advanced a následně doplnit Alias signálu, který je vepsán v tabulce PLCSIM_Advanced Inputs Obr. 22, Alias je totožný s názvem tagu vyčteného z PLC, až na speciální znaky. Ty jsou v Tecnomatix Plant Simulation automaticky nahrazeny podtržítkem a podobnými znaky. Alias může být editován dle potřeb a nemusí být totožný s názvem tagu vyčteného z PLC.



| | Identifier | Data Type | Alias | Simulation Model Attribute |
|---|------------|-----------|--------|----------------------------|
| 1 | Barva1 | Boolean | Barva1 | |
| 2 | Barva2 | Boolean | Barva2 | |
| 3 | Barva3 | Boolean | Barva3 | |

Obr. 22 Tabulka s vyčtenými tagy z PLC a názvem Alias používaným v PS

Příklady příkazů vypadají následovně. Musí být dodržen datový typ tagu, který je v tabulce, jinak bude po spuštění hlášena chyba.

MyPLCSIM.MyAlias1 := true -- nastaví vstupní signál (binární)

MyPLCSIM.MyAlias2 := 42 -- nastaví vstupní signál (číselný)

print MyPLCSIM.MyAlias3 – vypíše hodnotu výstupního signálu

Jestliže se například aktivuje snímač Barva1, je potřebné spustit metodu, ve které proběhne toto přiřazení. MyPLCSIM.Barva1 := true. V případě deaktivace snímače se musí spustit metoda, která přiřadí tagu negativní hodnotu MyPLCSIM.MyAlias1 := false.

V případě čtení z tabulky tagů je to problematictější. Dlouho bylo řešeno, jak zachytit změnu hodnoty v tabulce ke spuštění metody, která by na změnu hodnoty reagovala. Hodnota se v tabulce změní, ale je potřebné odchytit, že došlo k této změně. Bylo vyzkoušeno velké množství způsobů pro zaregistrování změny výstupu z TIA Portalu. Například periodické kontrolování tabulky cyklem v metodě, který porovnával stavy mezi průchodem. Periodickým spouštěním metod, ve kterých probíhalo porovnání hodnot s polem hodnot, které byly uloženy v předchozím průchodu. Funkcí trieger, waituntil atd. Všechny tyto možnosti vyžadují velký výpočetní výkon a ve většině případů zapříčiní zacyklení programu.

Nakonec byla náhodou objevena možnost spuštění metody na základě změny hodnoty přímo v tabulce Input. Do sloupce tabulky Simulation Model Attribute je možno vepsat metodu, která se spustí v okamžiku změny tagu, viz Obr. 23. Ke komponentě PLCSIM Advancet v PS a propojení s TIA Portalem neexistuje žádná dokumentace, nebo nápověda. Velká část informací k propojení a řízení simulačního modelu pomocí PLC byla zjištěna způsobem pokus-omyl. Nebyly objeveny žádné podklady, které by blíže popisovaly jak s komponentou PLCSIM_Advanced v PS pracovat.

| | Identifier | Data Type | Alias | Simulation Model Attribute |
|----|------------|-----------|-------|----------------------------|
| 16 | Q4_1 | Boolean | Q4_1 | Method |
| 17 | Q4_2 | Boolean | Q4_2 | Method |
| 18 | Q4_3 | Boolean | Q4_3 | Method |
| 19 | Q4_4 | Boolean | Q4_4 | Method |
| 20 | Q4_5 | Boolean | Q4_5 | Method |
| 21 | Q4_6 | Boolean | Q4_6 | Method |
| 22 | Q1_1 | Boolean | Q1_1 | Method |
| 23 | Q2_1 | Boolean | Q2_1 | Method |
| 24 | Q3_1 | Boolean | Q3_1 | Method |
| 25 | Q3_2 | Boolean | Q3_2 | Method |
| 26 | Q3_3 | Boolean | Q3_3 | Method |
| 27 | Q1_2 | Boolean | Q1_2 | Method |
| 28 | Q1_3 | Boolean | Q1_3 | Method |
| 29 | MQ_3 | Boolean | MQ_3 | Method |
| 30 | MQ_1 | Boolean | MQ_1 | Method |
| 31 | MQ_2 | Boolean | MQ_2 | Method |
| 32 | Q2_2 | Boolean | Q2_2 | Method |
| 33 | Q1_4 | Boolean | Q1_4 | Method |
| 34 | Q1_5 | Boolean | Q1_5 | Method |
| 35 | Q1_6 | Boolean | Q1_6 | Method |
| 36 | Q3_4 | Boolean | Q3_4 | Method |
| 37 | O5_2 | Boolean | O5_2 | Method |

Obr. 23 Tabuka Inputs s uvedenou metodou vyvolanou při změně hodnoty tagu

8.3 Využité algoritmy

Dopravníky (Line)

Přenesení řízení dopravníků z Tecnomatix Plant Simulation je do značné míry problematické. Dopravníky jsou řízeny automaticky digitálním modelem. Může nastat opomenutí, nebo částečné přenesení řízení a digitální model bude přesto funkční. Při ověřování algoritmu PLC proto musí být kladen důraz na důkladnou analýzu chování dopravníků

Algoritmus PS

Vypínání a zapínání dopravníků je řešeno jedním binárním výstupním bitem. Bit může být přiveden do frekvenčního měniče nebo stykače pohonu. Na základě zaregistrování jeho změny se v PS spustí metoda. Metoda obsahuje následující podmínku pro každý dopravník.

```
if PLCSIM_Advanced.Q4_2=true then
```

```
    A4_2.stopped:=false;
```

```
else
```

```
    A4_2.stopped:=true;
```

```
end
```

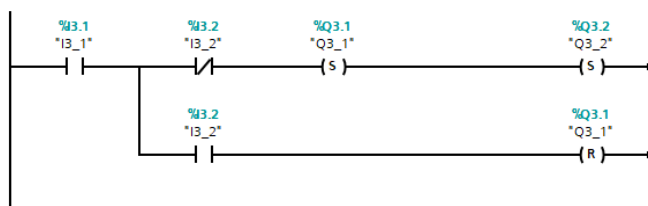
Tato podmínka simuluje chování stykače pohonu v reálném systému.

Na každém dopravníku je dále umístěn 20cm před koncem binární senzor přítomnosti. Při aktivaci senzoru přední hranou MU se vyvolá metoda, která zapíše na patřičný vstup PLC hodnotu true.

K deaktivaci senzoru dojde, když MU vyvolá druhou metodu přítomnosti zadní hrany na snímači. V této metodě se zapíše na patřičný vstup PLC hodnotu false. Takto dochází k simulaci binárního senzoru. V tomto kontextu se musí řešit resetování senzoru, jestliže dojde k přerušení simulace během přítomnosti MU na snímači. MU neaktivuje zadní hranou snímač, proto při restartování simulačního modelu zůstane v tabulce tagů signál o přítomnosti MU na snímači, i když ve skutečnosti přítomno není. Při spuštění simulačního modelu je proto nutné spustit metodu, která zapisuje na veškeré tagy zastupující funkci binárních senzorů hodnotu false. Tímto se od skutečných snímačů logika liší a v některých situacích, například při odebrání MU přítomném na snímači, může dojít v tomto místě k zaseknutí. Není to ovšem chyba algoritmu PLC.

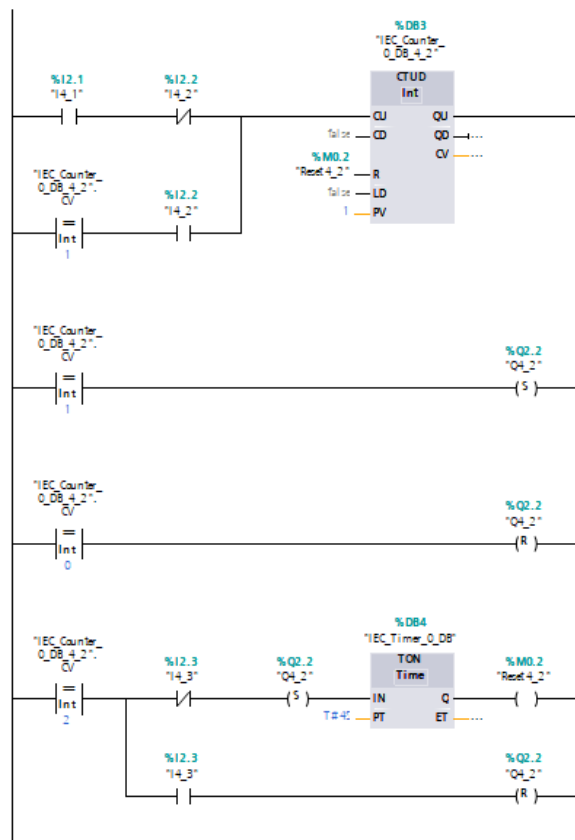
Algoritmus TIA Portal

V programu TIA portal je zajištěno řízení na základě informací z binárních senzorů přítomnosti. Prvotní řízení zajišťuje pouze přítomnost jednoho polotovaru na dopravníku. Když MU aktivuje snímač na pozici 3.1 a zároveň je volný následující dopravník 3.2 provede se přesunutí MU na dopravník 3.2. Jestli je dopravník 3.2 obsazený, dojde k zastavení MU na dopravníku 3.1, viz Obr. 24. Není zde řešeno vypnutí dopravníku po odbavení MU. V simulačním modelu ale není možné rozpoznat, zdali je dopravník zapnutý, či nikoli. Proto byla přidána indikace chodu dopravníku kontrolkou u názvu dopravníku. Červená - dopravník stojí, zelená - dopravník je zapnut.



Obr. 24 Příklad řízení dopravníku v PLC na pozici 3.2

Díky ověření řízení na simulačním modelu byla zjištěna malá efektivita algoritmu. Došlo k úpravě řízení, aby se vyhnulo nutnosti přidání druhého snímače na začátek každého dopravníku. Na Obr. 25. je uvedena modifikovaná verze algoritmu na pozici 4.2, která, kromě výše zmíněné funkce, řeší vypínání dopravníku, jestliže není požadavek na jeho využití. Dopravník 4.2 je vypnut, dojde-li k deaktivaci senzoru 4.2 po nastaveném čase 4s v IEC_Timer:_0_DB_4_2. Tento algoritmus je použit na pozicích 4.2 a 4.3. Ostatní dopravníky jsou řízeny algoritmem uvedeným na Obr. 24 z důvodu menší výpočetní náročnosti pro řízení digitálního modelu.



Obr. 25 Příklad řízení dopravníku v PLC na pozici 4.2

Křižovatky (DP)

Řízení probíhá na základě informací z binárních snímačů barvy, které jsou umístěny na dopravnících před DP. Simulace senzoru probíhá v algoritmu simulace. Určení směru probíhá v PLC. Algoritmus křižovatky je jen upraven oproti algoritmu v samostatné simulaci, aby zde neprobíhalo řízení.

Algoritmus PS

Jako jednoznačná identifikace pro program PLC byla zvolena barva MU, která určuje jeho typ. V simulaci byl před každé místo směřování materiálového toku umístěn senzor. Při aktivaci senzoru se vyvolá metoda, která simuluje chování diskretního senzoru barvy. To je zajištěno třemi následujícími podmínkami. Jedna podmínka pro každý Part.

```

if @.Name ="Part1" then
    PLCSIM_Advanced.I4_3Fialova := true
    PLCSIM_Advanced.I4_3Modra := false
    PLCSIM_Advanced.I4_3Zelena := false
end;

```

V podmínce se podle jména MU zjistí, o který Part se jedná. Na základě jména se změní binární hodnota bitu barvy do hodnoty true a ostatní bity barvy do hodnoty false.

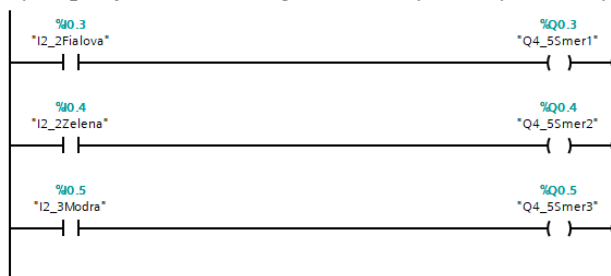
Určení směru probíhá v PLC a algoritmus simulace zobrazuje reakci stykače nebo frekvenčního měniče. Došlo k malé úpravě kódu oproti samostatné simulaci.

```
if PLCSIM_Advanced.Q2_2Smer1_1 = true then
    ?.ExitForNextEnteringMU := 0
```

Ukázka jedné ze tří podmínek směřování na pozici 2.2.

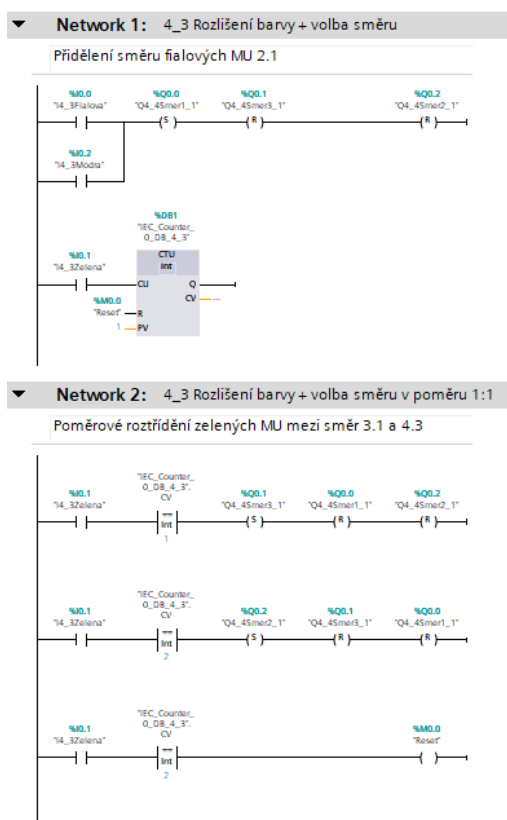
Algoritmus TIA Portal

Vstupem do PLC jsou tři digitální vstupy, kdy každý z nich interpretuje jinou rozpoznanou barvu. Výstup jsou tři digitální bity, kdy každý z nich interpretuje jeden výstupní směr.



Obr. 26 Příklad řízení DP v PLC na pozici 4.5

Na křižovatce 4.4 je poté v algoritmu PLC řešeno rozdělování polotovaru Part2 (zelený) mezi dva směry Obr. 27. Na straně simulace je algoritmus koncipován stejně, jako je zmíněno výše.



Obr. 27 Příklad řízení rovnoměrného rozdělování polotovaru Part2 mezi 2 směry v PLC na pozici 4.4

Na křižovatkách dále probíhá kontrola obsazenosti dopravníků na určeném výstupním směru. Tento algoritmus spolu se všemi ostatními je uveden v elektronické příloze Příloha E.

Stroje (Machine)

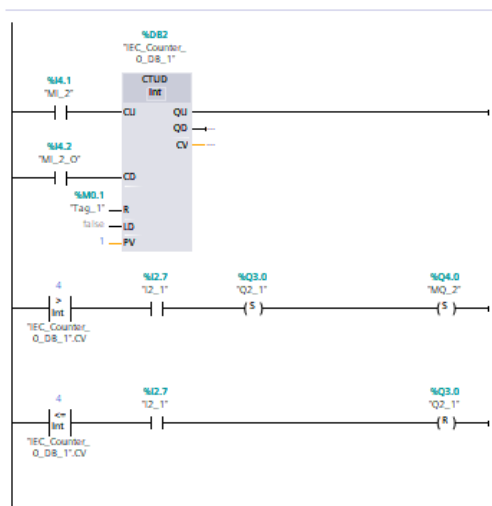
Pracovní cyklus stroje není v této práci řízen. Řízeno je zásobování strojů.

Algoritmus PS

Pomocí metod, vyvolávaných na vstupu a výstupu stroje, je simulován výstup reálného stroje s informací, zdali je obsazen. Algoritmus je totožný jako u snímače na dopravnících. Veškeré zde zmíněné i nezmíněné algoritmy jsou uvedeny v simulačním modelu v elektronické příloze Příloha D.

Algoritmus TIA Portal

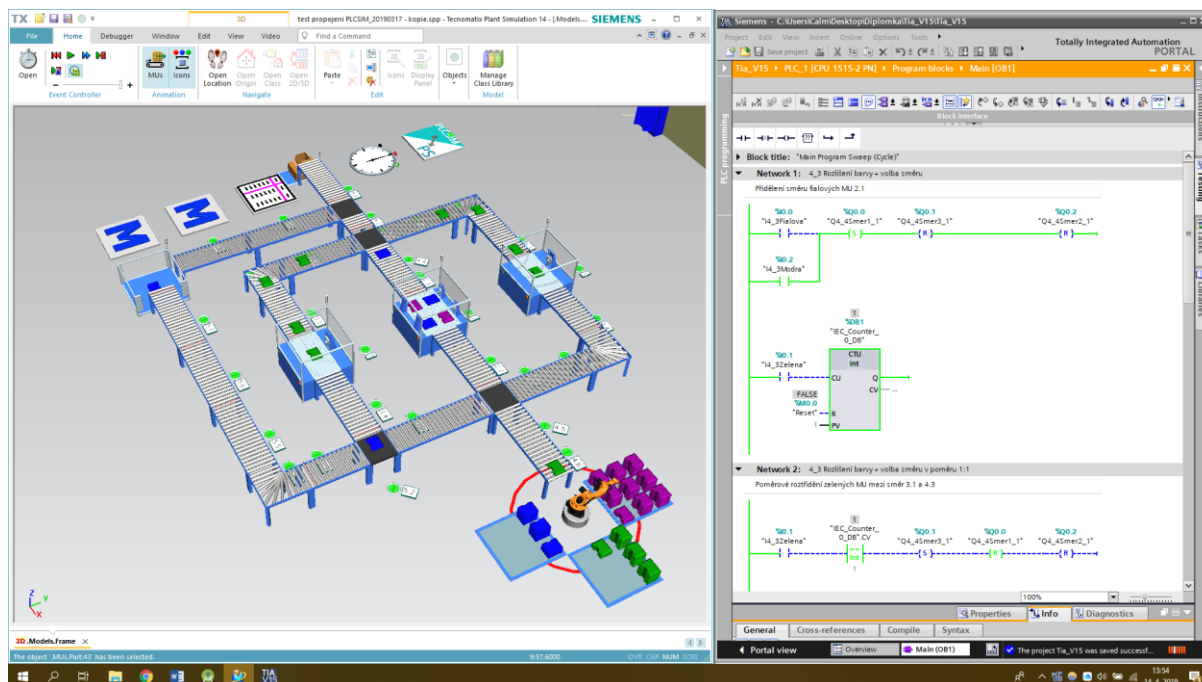
Informace o obsazenosti strojů jsou použity pro zajištění vstupu a výstupu polotovaru. Na základě dat jsou spouštěny a zastavovány vstupní dopravníky. Stroj Machine2 je vybaven čtyřmi pozicemi. Následující algoritmus na Obr. 28 určuje na základě binárního vstupu počet obsazených pozic a řídí zásobování stroje maximálním množstvím polotovarů.



Obr. 28 Příklad řízení přístupu čtyř polotovarů v PLC do Machine2

Robot (Sorter) Zásobník (Buffer) Sklad (Store)

Řízení těchto zařízení není řešeno v programu PLC a je řízeno pomocí simulačního modelu tak, jak je popsáno v kapitole 8.3.



Obr. 29 Ukázka přeneseného řízení z Tecnomatix Plant Simulation do TIA Portal v monitorovacím módu

Je důležité, aby simulační program skutečně poskytoval a přijímal identická vstupní a výstupní data jako u reálného systému, aby bylo možné algoritmus PLC náležitě otestovat.

Programátor simulací připravující algoritmus by měl ideálně znát přesné technické řešení systému, ovládat programování v TIA Portalu, Tecnomatix Plant Simulation a mít také projekční znalosti. Požadavky na znalosti při zpracování tak komplexního úkolu pomalu vedou na nový vzdělávací obor. Diverzifikace dílčích úkolů mezi více spolupracovníků by mohla způsobit velké množství nesrovnalostí jak na straně algoritmu TIA Portalu, tak na straně simulačního modelu. Nutno ovšem ověřit praxí. Tvorba propojení, komunikace a ověření algoritmů PLC pro lakovací linku bylo časově náročné, hlavně z důvodu neexistující dokumentace k této problematice.

8.4 Shrnutí

Ověření algoritmu PLC na simulačním modelu je možné a využitelné. Propojení pomáhá především s vizuální představou při testování algoritmů PLC. Simulace zobrazuje reálné chování výrobního systému ještě předtím, než je reálně postaven. Omezuje tak vznik nepředvídaných situací při ožívování jak s algoritmem, tak mechanickým řešením linky.

Je nutné myslet na požadavky propojení PLC úrovně s digitálním modelem už od počátku. K algoritmu v Tecnomatix Plant Simulation musí být přístupováno s jiným stylem programování. Tvorba simulace bez propojení je jednodušší, je zde mnoho metod a nastavení, které se při simulaci dají snadno a rychle použít, ale při implementaci propojení s PLC a fyzickém zapojení tyto podněty a nastavení musí řešit software PLC, snímače a případný další hardware.

V simulaci může být vyvolána metoda na vstupu nebo výstupu dopravníku, při obsazenosti komponent atd. není nutné používat snímače ani řešit mnohdy složité algoritmy, které za přednastavenými funkcemi jsou. Směřování toku materiálu lze řídit vnitřními algoritmy. Metody můžeme chápat jako snímače a akční členy, ty je možné spustit na základě jakékoli události, která nemusí být fyzikálně reálná.

Využívání veškerých možností Tecnomatix Plant Simulation i těch fyzikálně nereálných je při tvorbě digitálního modelu užitečné, usnadňuje a zrychluje realizaci digitálního modelu. Bez jejich využití by mnohdy simulační model nemohl vzniknout. Při spojení s řídicím systémem však všechny funkce musí řešit PLC, nemůže je provádět simulační program, jinak by nedošlo k dostatečnému otestování a prověření programu. Je snadné napojit PLC na simulační program, je však nutné myslet na veškeré situace, které se budou muset na fyzickém systému řešit. Je důležité zajistit přenos veškerého řízení do algoritmu PLC a simulační program používat jako určitý „hloupý“ vizualizační systém s pouhým přenášením informací bez samostatného řízení. Je možné zde například simulovat snímač (skener), na základě kterého pak probíhá materiálový tok. Je ale potřeba veškeré informace ze simulovaného skeneru přenést do PLC, kde proběhne zpracování informací a jejich vyhodnocení a zvolení akce. Funkce fyzikálního snímače musí přesně odpovídat tomu simulovanému. Je potřeba zajistit stejné rozhraní simulovaného snímače jako toho fyzického.

Simulační program lze použít ve spojení s PLC pro simulaci vstupních signálů, to znamená, že lze pomocí modifikovatelného programu poskytovat PLC vstupy tak, jak by je dostávalo ve fyzickém zapojení. Je možné simulovat různé druhy vstupních členů diskrétní, digitální, analogové. Následuje pak vizualizace (interpretace akčních členů) výstupních hodnot pomocí simulačního programu. Tato vizualizace obvykle způsobí změnu vstupních hodnot PLC a to provádí adekvátní reakci. Lze také snadno simulovat veškeré stroje a materiálový tok, který s algoritmem PLC nesouvisí. Je možné řídit určené stroje či část technologie prostřednictvím algoritmu běžícím v simulačním programu a určitou část řídit pomocí PLC.

Je důležité určit a znát, co všechno musí PLC automat řídit. V podstatě by se dalo říci, že je jednodušší tvořit simulační model až poté, co je napsán algoritmus PLC. V simulačním modelu je pak jasné, jaká data je potřeba simulovat a připravit pro PLC, která jsou pak fyzicky poskytnuta ze snímačů a akčních členů.

Z pohledu člověka, který řeší pouze simulace, bude velmi těžké tvořit simulační model pro budoucí propojení s PLC. Oproti samostatné simulaci se algoritmus řízení liší a je potřeba vytvořit nový a to přímo v PLC. Je nutné zpracovat zprávu o fungování algoritmu ze samostatné simulace. Na základě této zprávy pak ideálně vznikne program PLC. V simulačním modelu bude následně potřebné upravit veškeré algoritmy řízení a nahradit je „vizualizací“ a simulací I/O.

Je pravděpodobné, že bude nastávat situace, že PLC programátor a programátor simulací budou vzájemně očekávat jiné vstupní a výstupní data a bude potřeba důkladné organizace, která zabere mnoho času, aby vše fungovalo správně. Zatím je uvažována pouze komunikace mezi algoritmy. Je také předpokládáno, že při testování aplikace PLC budou vznikat nové požadavky na simulaci snímačů a akčních členů. Budou se objevovat chyby v chování simulačního programu, vstupní a výstupní hodnoty nebudou odpovídat fyzickým. Tyto chyby se budou složitě hledat, protože z prvního pohledu nebude jasné, ve které části algoritmu k chybě dochází. Jestli na straně PLC nebo simulace. Programátor

simulací a PLC programátor se na funkci programu dívají z jiného pohledu. Tím vzniká předpoklad pro vznik chyb na obou stranách.

Je taky problematické, že s každou úpravou PLC algoritmu bude s velkou pravděpodobností potřeba upravit algoritmus simulace. To znamená neustálou spolupráci mezi programátorem PLC a simulace. V tomto okamžiku bude moci pracovat jen jeden programátor. Buď bude potřeba upravit algoritmus simulace a programátor PLC bude tímto brzděn, protože mu simulace neumožní pokračovat nebo bude simulaci využívat programátor PLC a programátor simulací nebude moci provádět změny.

Je ale předpokládáno, že praxí a dlouhodobou spoluprací by došlo k eliminaci většiny výše zmíněných problémů.

V této práci vznikal program v PLC a simulační program současně. Toto řešení je výhodné v tom ohledu, že je možné dělat rychlé korekce v obou programech. Programátorovi je jasné, které části jsou řízeny jakým programem. Vzniká menší prostor pro chyby. Toto řešení ale není v praxi moc reálné. Každý programátor PLC by musel umět pracovat alespoň v nějaké míře se simulačním programem nebo programátoři simulací by museli programovat PLC. Také v případě složitějších výrobních systémů by to bylo náročné.

Jak už bylo zmíněno, v této práci bylo využito postupné paralelní programování v obou prostředích. V případě distribuce práce mezi více programátory by bylo výhodnější nejprve vytvořit základní funkční program v TIA Portalu, zajistit propojení s Tecnomatix Plant Simulation a poté vytvářet algoritmus v simulačním modelu. Po ověření správné funkčnosti vyhodnotit chování a případně přejít k úpravě algoritmu PLC.

Nejprve vznikla malá část algoritmu PLC. Následně bylo přistoupeno k propojení a tvorbě algoritmu totožné části v simulačním programu. Jedná se o pomalejší a méně efektivní způsob. Především proto, že každá změna vyžádá nové nahrání programu do virtuálního PLC. To samo o sobě zabírá dostatek času. Navíc tady dochází, na straně simulace, ke zdvojení tabulky vstupů a výstupů. Tabulka vstupů a výstupů se musí smazat, importovat všechny tagy a případně přenášet metody do nově importované tabulky.

Z tohoto plyne, že je efektivní nahrávat program s co nejmenší periodou. Paralelní programování také přináší nevýhodu možnosti opomenutí části kódu. Jsou také hůře rozpoznatelné hranice přeneseného řízení atd. Byla zvolena možnost z důvodu postupného ověřování možností a funkcí propojení a zajištění rychlých korekcí. V další práci, především ve spolupráci s více programátory, by bylo vhodné volit již postupné programování

9 Zhodnocení dosažených výsledků

V práci byl popsán kontrolní a lakovací výrobní systém. Na základě popisu byl vytvořen digitální model. Model byl optimalizován, aby splňoval stanovené požadavky. Dále byla vytvořena kopie modelu. V kopii byly upraveny řídicí algoritmy tak, aby se dosáhlo přenesení řízení do připojeného virtuálního PLC. Na základě digitálního modelu byl vytvořen algoritmus PLC a byl ověřen dosažením totožných výsledků chování s originálem simulace.

9.1 Zhodnocení digitálního zprovoznění

Výhody byly již zmíněny v textu práce. Hlavním přínosem je především dosažení totožného chování reálného systému a digitálního modelu. V simulaci je možné ověřit totožnost chování algoritmu digitálního modelu a algoritmu PLC. Simulační model umožňuje odladění PLC programu ještě před fyzickou realizací, což dává možnost odstranit chyby v rané části vývoje, urychlit zprovoznění při uvádění do provozu, uspořit na prototypch zařízení atd. Je také možné simulovat libovolnou situaci bez možnosti vzniku škod. Na simulačním modelu lze testovat například umístění snímačů pro větší efektivitu řízení. Případným přesunutím, nebo změnou koncepce lze docílit zjednodušení algoritmu. Školení operátorů je možné provést před fyzickou realizací. Operátor může ovládat simulační model například pomocí virtuálního HMI a sledovat reakce systému. Často probíhá školení obsluhy jen pro omezený produktový mix, nebo dokonce jen pro jednu recepturu, přestože zařízení je projektováno na desítky, ne-li stovky receptur.

Simulace, netvořená s ideou budoucího napojení na PLC úroveň, je při propojení se simulačním modelem zpracovaným v Tecnomatix Plant Simulation časově náročná. Lze využít pouze layout zpracovaný v PS a je nutné celý algoritmus řízení zpracovat znova s logickým řízením PLC úrovně.

Při propojení simulace s PLC úrovní je nutná úplně jiná koncepce algoritmu simulace. V případě, je-li simulace zpracována s ohledem na budoucí propojení s PLC úrovní, je možné koncipovat algoritmus simulace tak, aby nebylo vyžadováno velké množství úprav.

Nelze tedy vytvořit simulaci, která by se dala propojit s PLC úrovní, bez větších úprav algoritmu v simulačním modelu zpracovaném v Tecnomatix Plant Simulation. Vždy bude potřebná úprava algoritmu pro spojení s PLC úrovní. Je však možné koncipovat algoritmus tak, aby potřebné úpravy algoritmů simulace byly co nejmenší.

V této práci se projevila nevýhoda, že samostatná simulace při odpojení PLC není funkční. Toto omezení vede na dvě verze digitálního modelu s napojením, a bez napojení na PLC úroveň. To je však velmi nepraktické, při rozdělení modelů je velmi pravděpodobné, že se v některém z nich provedou úpravy bez závislosti na druhém a vznikne prostor pro zavádějící či chybné výsledky. V případném pokračování na této práci by bylo cílem dosáhnout možnosti přepínání řízení mezi Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal, aby projektování i virtuální zprovoznění bylo možné realizovat na jednom digitálním modelu.

Automatickým řízením některých funkčních celků vnitřním algoritmem Tecnomatix Plant Simulation vzniká šance, že se opomene převést tato část řízení ze simulace do PLC. To by způsobilo,

že algoritmus PLC nebude dostatečně otestován. Je proto důležité sledovat a zajistit přenesení veškerých, především vnitřních algoritmů simulace do řízení PLC.

V případě velkého množství přenášených tagů vyžaduje program PLCSIM Advanced vysoký výkon. Spolu se spuštěným simulačním během v Tecnomatix Plant Simulation a monitoringem v programu TIA Portal dochází k zasekávání a výraznému zpomalení simulačního běhu. Je vhodné přenést pomocí virtuálního Ethernetového adaptéru v PLCSIM Advanced každý program na samostatné PC z důvodu rozdělení výkonu. V této práci běžely programy lokálně na jednom PC, výsledný pohyb simulace byl pod hranicí RT. To přináší komplikace, vzhledem k nastavování časových konstant v případě řízení závislém na čase. Nastavení konstant Timeru atd.

9.2 Výhled do budoucna

Dále by se na této práci dalo pokračovat s cílem více automatizovat tvorbu algoritmů PLC nebo simulačního modelu. Studováním problematiky bylo zjištěno, že by se do určité míry dala realizovat funkce pro automatické generování PLC algoritmu z algoritmu simulačního modelu s využitím XML. Je předpokládáno, že se v budoucích letech společnost Siemens vydá tímto směrem a bude do svých nástrojů implementovat funkce pro automatické generování algoritmů PLC z algoritmů simulace a opačně a čím dál více přibližovat tyto programy a jejich vzájemné propojení. Například automatický překlad SimTalk algoritmu do Ladder diagramu atd. Podobná funkce je implementována u simulace a programování robotů. Simulační program dokáže již plně generovat řídicí příkazy pro robotické rameno.

Ve využitých programech je očekáváno zlepšení především v načítání tagů v Tecnomatix Plant Simulation. Při každém nahrání programu do virtuálního PLC je potřeba ručně odstranit aktuální tabulku tagů, přenést metody které na tagy navazují a vygenerovat novou aktuální tabulku tagů. Každá změna v programu PLC způsobí opakování této časově náročné rutiny.

9.3 Závěr

V práci byly splněny veškeré body zadání. Hlavní výstupy jsou přiloženy v přílohách této práce, především elektronicky na CD a v IS EDISON. Návrh dispozice kontrolní a lakovací linky v CAD prostředí Příloha B. Simulační model kontrolní a lakovací linky s algoritmy, parametrizací, tabulkami vstupních mixů v programu Tecnomatix Plant Simulation Příloha C. Upravený simulační model pro řízení pomocí PLC v programu Tecnomatix Plant Simulation Příloha D. Algoritmus PLC pro řízení kontrolní a lakovací linky v programu TIA Portal Příloha E.

Literatura

- [1] Plant Simulation Forum [online]. Plano, Texas, USA: Siemens Product Lifecycle Management Software, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Plant-Simulation-Forum/bd-p/Plant-Simulation-Tecnomatix>
- [2.] Nástroje pro modelování a simulace výrobních procesů [online]. Praha, 2004 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://prog-story.technicalmuseum.cz/images/dokumenty/Programovani-TSW-1975-2014/2004/2004-11.pdf>. FEL ČVUT.
- [3] Plant Simulation: AXIOM TECH [online]. Zlín: AXIOM TECH [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-texnomatix-plant-simulation>
- [4] Ivan KŘIVÝ a Evžen KINDLER. Simulace a modelování. Ostrava, 2001. Učební text. Ostravská univerzita.
- [5] doc. Ing. Jiří KOZIOREK, PH.D, Bc. Antonín KUČERA a Bc. Jiří HAŠKA. Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů. Ostrava, 2012. Učební text a návody do cvičení. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [6] KOSEK, Rosislav. PLCSIM Advanced příklady použití. Siemens [online]. Praha: Siemens, 2018 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Documents/2018_duben/softwarovy-nastroj-SIMATIC-PLCSIM-Advanced.pdf
- [7] SIMATIC S7-PLCSIM Advanced [online]. Berlín: Siemens, [2019] [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/simatic-step7-options/s7-plcsim-advanced/pages/default.aspx>
- [8] Totally Integrated Automation Portal [online]. Berlín: Siemens, [2019] [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=2416f2e791&ctxp=home>
- [9] KOSEK, Rosislav. TIA Portal V15. Siemens [online]. Praha: Siemens, 2018, 2018 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_na_dosah/Documents/2018_duben/softwarovy-nastroj-SIMATIC-PLCSIM-Advanced.pdf
- [10] Tecnomatix Plant Simulation Help. Plano, Texas, USA, 2017.
- [11] Meine Simulations-Expertise (Tecnomatix Plant Simulation) [online]. Freiligrathstrasse 23 08058 Zwickau: Steffen Bangsow, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: www.bangsow.eu
- [12] BANGSOW, Steffen. Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples. 1. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3-319-19502-5.
- [13] SASÍN, Lukáš. Absolvování individuální odborné praxe. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [14] BANKS, Jerry, John S CARSON a Barry L NELSON. Discrete-event system simulation. DISCRETE EVENT SIMULATION [online]. 2000, (3/e) [cit. 2015-08-24]. Dostupné z: http://www.telecom.otago.ac.nz/tele302/ref/Banks_DES.pdf

- [15]]PROUD, John F. Master scheduling: a practical guide to competitive manufacturing. 3rd ed. Hoboken: John Wiley, 2007, xxviii, 657 s. ISBN 978-0-471-75727-6.
- [16] 2018 Plant Simulation Worldwide User Conference [online]. Stuttgart, Germany: Siemens Product Lifecycle Management Software, 2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/topic/plant-simulation-conference/18556>
- [17] BRANDIMARTE, Paolo, VILLA, Agostino (Eds.). Modeling manufacturing system: from aggregate planning to real-time control. Berlin: Springer, 1999, 215 s. ISBN 35-406-5500-X.
- [18] Plant Simulation User Conferences [online]. Plano, Texas, USA: Siemens Product Lifecycle Management Software, 2019 [cit. 2019-04-29] Dostupné z: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Plant-Simulation-User-Conferences/gp-p/Plant-Simulation-User-Conference-2016>
- [19] Plant Simulation Basics Tutorial English Andersson Aslam [online]. San Francisco: Scribd, 2013 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/141268399/Plant-Simulation-Basics-Tutorial-English-Andersson-Aslam#download>
- [20] SIMATIC S7-PLCSIM Advanced [online]. Berlín: Siemens, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/mcms/automation-software/en/tia-portal-software/step7-tia-portal/simatic-step7-options/s7-plcsim-advanced/pages/default.aspx>
- [21]]Readme SIMATIC S7-PLCSIM Advanced V2.0 SP1 [online]. Berlín: Siemens, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109739154/readme-simatic-s7-plcsim-advanced-v2-0-sp1?dti=0&pnid=24442&lc=en-WW>
- [22] Siemens PLM [online]. Plano, Texas, USA: Siemens Product Lifecycle Management Software, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/>

Seznam příloh

Tištěné přílohy

Příloha A: Popis propojení software Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal

Elektronické přílohy

Příloha B: Layout

Příloha C: Simulační model v programu Tecnomatix Plant Simulation

Příloha D: Simulační model v programu Tecnomatix Plant Simulation upravený pro řízení pomocí PLC

Příloha E: Řídicí program PLC zpracovaný v nástroji TIA Portal

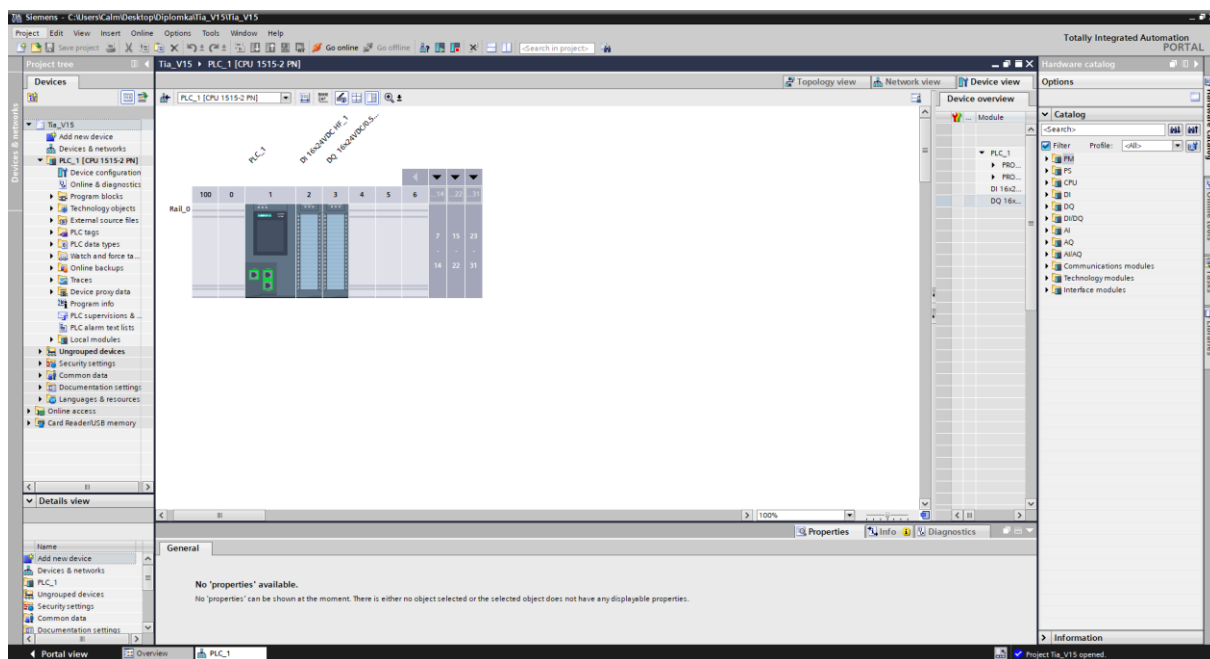
Příloha F: Původní tabulka vstupního mixu

Příloha G: Nová tabulka vstupního mixu

Příloha A

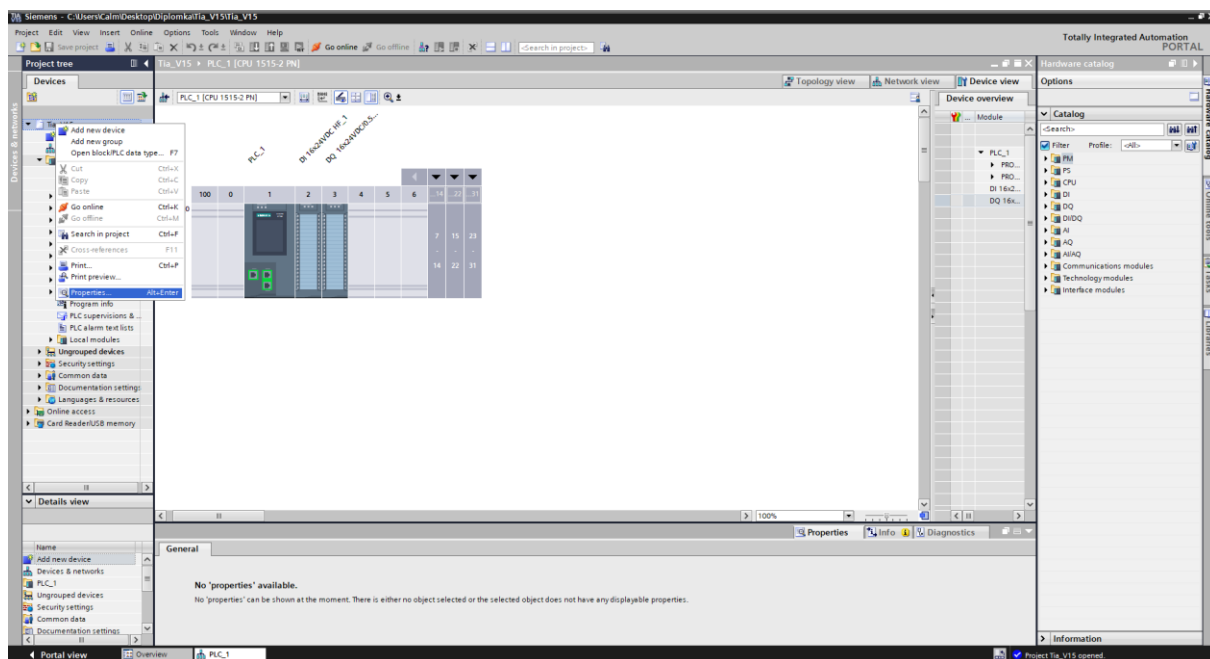
Popis propojení software Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal

1. Je nutné mít potřebný licencovaný software.
 - a. TIA Portal v14 a vyšší (příklad prováděn na TIA Portal v15)
 - b. PLCSIM Advanced v2
 - c. Tecnomatix Plant Simulation 14 s licenci interface package
2. Pro správné fungování je zapotřebí nejprve založit standartní projekt v programu TIA Portal. Program PLCSIM Advanced v2 podporuje 2. typy CPU a to je S7-1500 a distribuovaný typ CPU ET200sp. Projekt je založen s jedním z nich a jsou přidány potřebné I/O karty. V příkladu bude zvoleno CPU S7-1500.

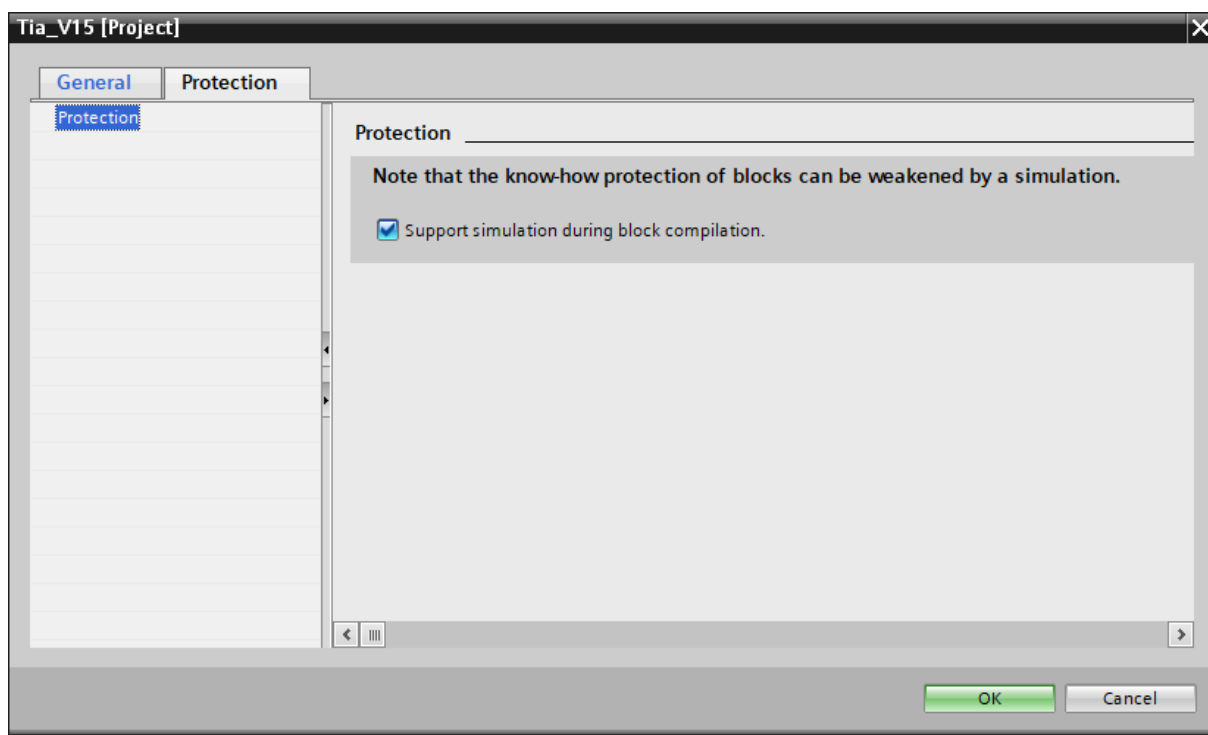


Obr. 1 Nový projekt v programu TIA Portal v15 s CPU S7-1500 a DI/DO kartami

3. Nyní je důležité povolit podporu simulace v průběhu kompilace bloků. Nastavení povolení je umístěno v ProjectTree, je potřeba kliknout pravým tlačítkem myši na název projektu a zvolit Properties. V záložce Protection je nutné odškrtnout políčko Support simulation during block compilation. Bez tohoto kroku by se nepodařilo program nahrát do simulátoru PLC.

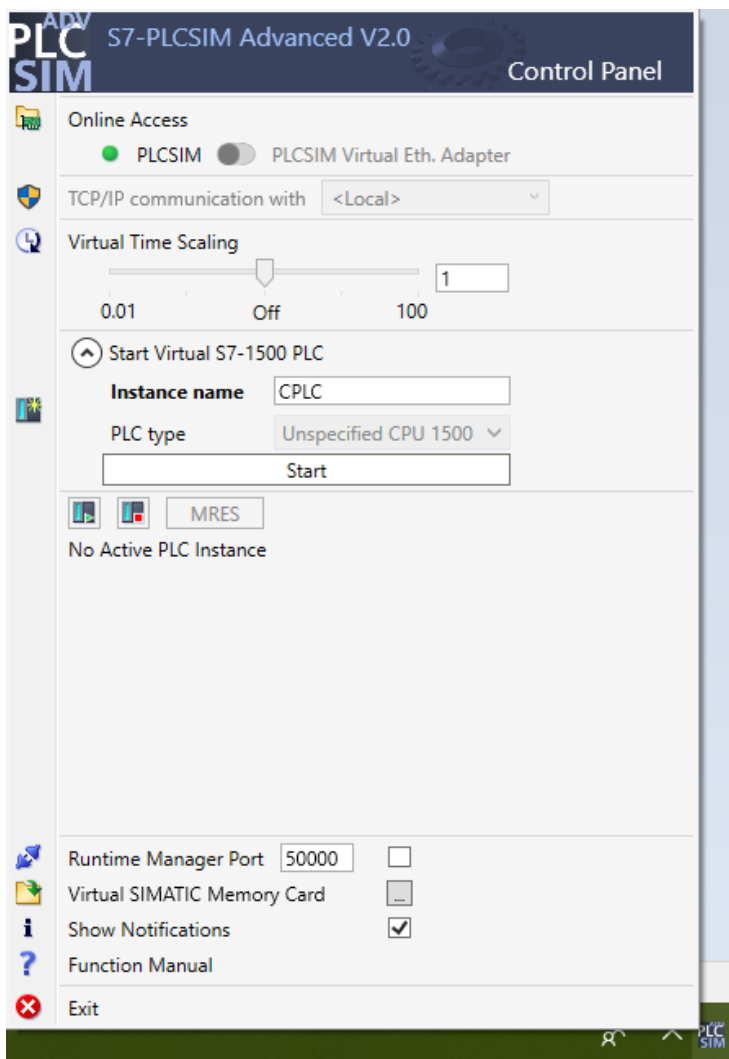


Obr. 2 Cesta do Protection settings



Obr. 3 Povolení simulace během kompilace bloků

4. Spuštěný program PLCSIM Advanced v2 se zobrazuje pouze na pozadí a na hlavním panelu se objevuje jeho ikona. Pro otevření nabídky je potřebné na ikonu kliknout pravým tlačítkem myši. Otevře se následující nabídka.

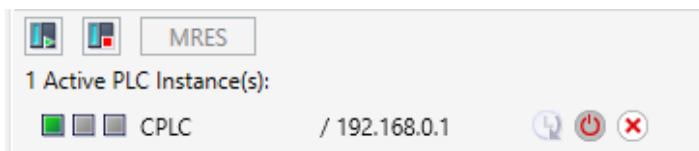


Obr. 4 Nastavení PLCSIM Advaced v2

Online Access umožňuje přepnutí pro distribuovanou aplikaci a zajišťuje viditelnost simulovaného PLC na jiném PC, prostřednictvím sítě a reálného Ethernetového adaptéru. V práci je použita defaultní volba PLCSIM, která umožňuje pomocí virtuálního Ethernetového adaptéru provést aplikaci pouze na jednom lokálním PC. Dále může být nastavena synchronizace času. Jestliže je nastaveno off, simulační model i PLC program budou pracovat se stejným vnímáním času.

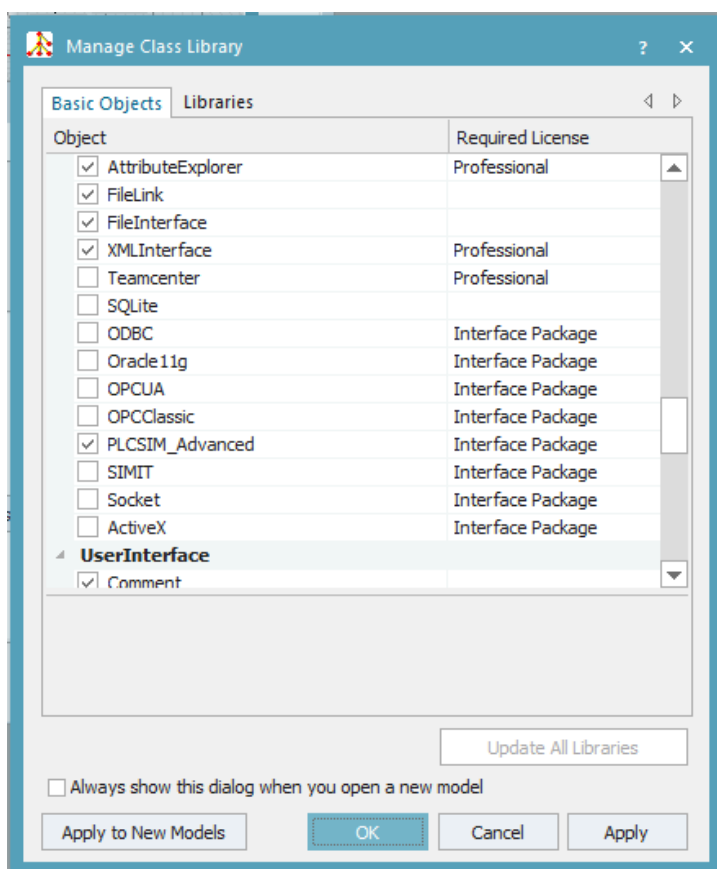
Dále je nutné nastavit jméno PLC instance, pod kterou bude virtuální PLC viditelné. Následně je potřebné vybrat jedno z podporovaných typů CPU a zvolit start. Je možné také změnit Port atd., toto nastavení bude ponecháno defaultní.

Nyní se vytvoří virtuální PLC a program mu přiřadí IP adresu. Jsou zobrazeny tři kontrolky, které znázorňují stav PLC.



Obr. 5 Aktivní virtuální PLC s nahráním programem

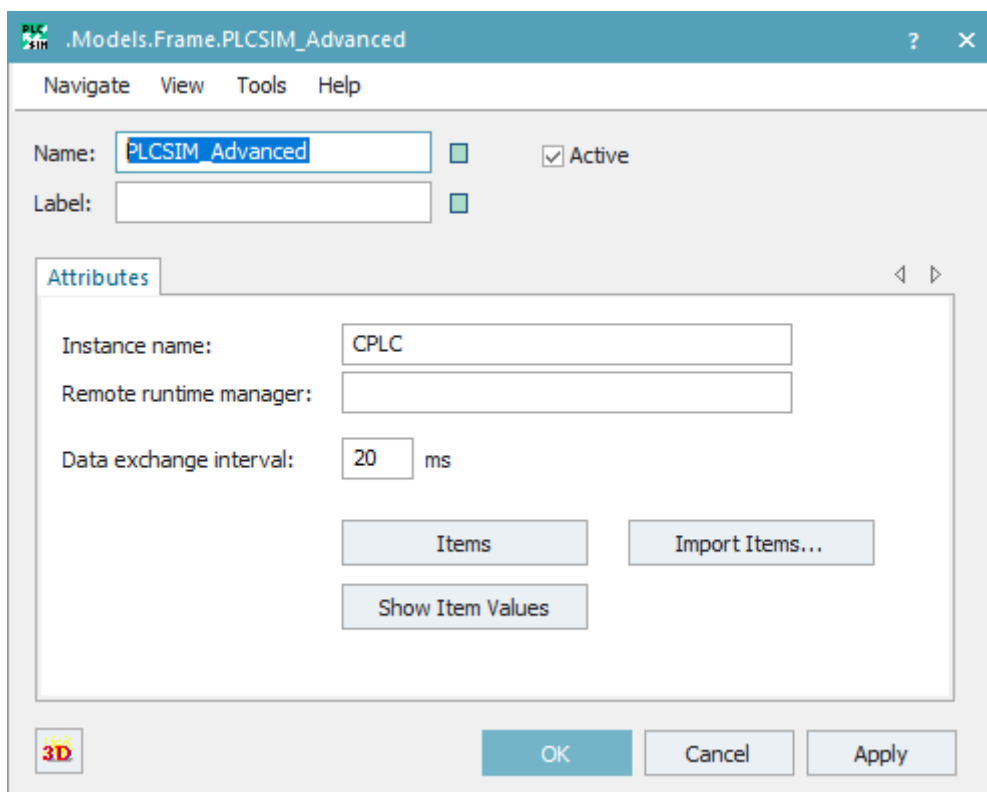
5. Defaultně je nová instance PLC ve stavu maintenance. V programu TIA Portal v15 je dále přikročeno k nahrání programu do PLC. V PLC interface bude nastaveno PLCSIM a bude provedeno prohledání veškerých portů. Virtuální PLC instance se objeví jako dostupné zařízení. Instance musí mít stejnou IP adresu jako adresa v PLCSIM advanced v2. Je možné ji přepsat pomocí změny adresy PLC. Úspěšným nahráním se změní stav PLC instance v PLCSIM advanced v2. Lze se také přepnout do online režimu atd. TIA Portal se chová stejně jako by byl připojen k reálnému PLC.
6. V programu TIA Portal je potřeba definovat nějaké tagy, aby bylo možné spárování s programem Tecnomatix Plant Simulation. Může být provedeno například definování nějakého tagu v tabulce nebo napsán program, ve kterém bude definován alespoň jeden tag.
7. Pro přejímání hodnot z PLCSIM advanced v2 má Tecnomatix Plant Simulation přímo funkční blok PLCSIM_Advanced. Tento blok je nutné přidat do Class Library prostřednictvím nabídky Manage Class Library na začátku tvorby projektu nebo v existujícím projektu v záložce Home.



Obr. 6 Manage Class Library v programu Tecnomatix Plant Simulation

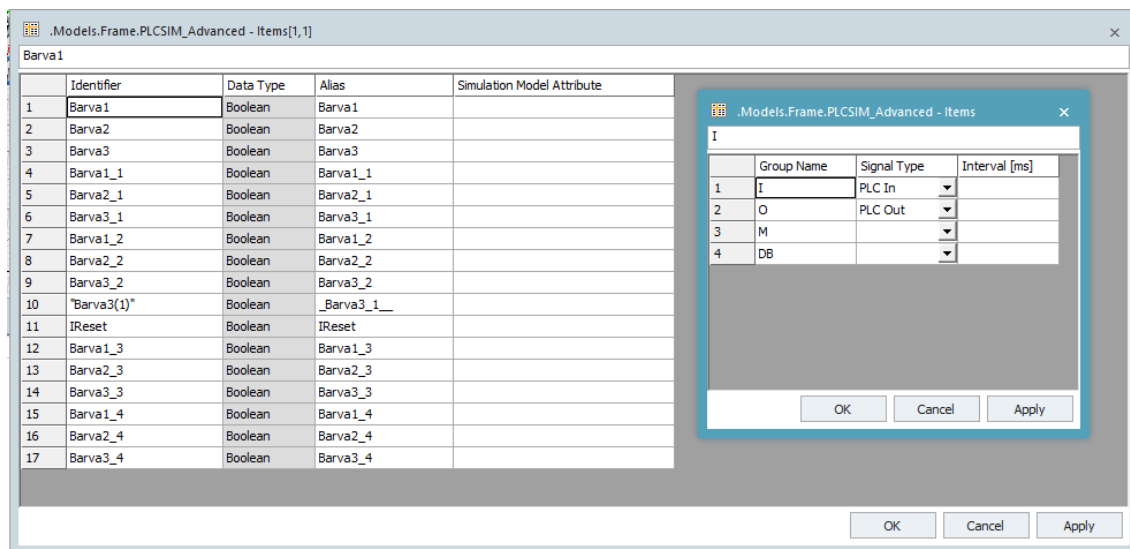
Jak je možné sledovat na obrázku Obr.6, pro tento blok nestačí profesionální či studentská licence. Je potřebná licence, která zahrnuje Interface Package a je dostupná zvlášť. Pro účely diplomové práce byla firmou Siemens tato licence zapůjčena.

8. V komponentě PLCSIM_Advanced se nastaví jméno instance, které je použito v programu PLCSIM advanced v2. Dále se zvolí možnost Activate, případně doba odezvy. Dialogové okno se potvrdí a tímto se naváže komunikaci s PLCSIM advanced v2. Kdyby vznikly problémy s navázáním komunikace, zobrazí se dialogové okno s popisem chyby.



Obr. 7 Dialogové okno komponenty PLCSIM_Advanced s nastavením a tabulkami

9. Při následném otevření je voleno tlačítko Import Items. V nabídce lze zvolit druh dat, které se budou z PLC přijímat. Program této práce není obsáhlý, proto jsou importovány všechny vstupy, výstupy, memory bity a datablocky (I, O, m, DB).
10. Všechny tagy se nyní přenesly z PLC do tabulky pod volbu Items. Zde se nachází vnořená tabulka, která dává na výběr z podskupiny I, O, m, DB. Tyto skupiny je možné znovu otevřít a směřují do úplného výpisu tagů, které se importovaly z PLC.



Obr. 8 Výpis tabulky show items (I) bloku PLCSIM_Advanced

Ve sloupci s názvem Alias jsou uvedeny názvy proměnných, které lze vyčítat v simulačním programu Tecnomatix Plant Simulation. Pod tlačítkem Show item values se skrývá podobná tabulka, která zobrazuje aktuální stavy, které jsou sdíleny mezi programy. Tyto stavy odpovídají stavům v tabulce tagů v PLC v online režimu.

| | | |
|--------|-------------|----------|
| Barva1 | | |
| | string 1 | string 2 |
| string | Alias | Value |
| 1 | Barva1 | true |
| 2 | Barva2 | false |
| 3 | Barva3 | false |
| 4 | Barva1_1 | true |
| 5 | Barva2_1 | false |
| 6 | Barva3_1 | false |
| 7 | Barva1_2 | false |
| 8 | Barva2_2 | false |
| 9 | Barva3_2 | false |
| 10 | _Barva3_1__ | false |
| 11 | IReset | false |
| 12 | Barva1_3 | false |
| 13 | Barva2_3 | true |
| 14 | Barva3_3 | false |
| 15 | Barva1_4 | true |
| 16 | Barva2_4 | false |
| 17 | Barva3_4 | false |
| 18 | | |
| 19 | | |
| 20 | | |
| 21 | | |
| 22 | | |

Obr. 9 Výpis tabulky show items values (I) bloku PLCSIM_Advanced

Popis propojení software Tecnomatix Plant Simulation a TIA Portal popisuje jednotlivé kroky pro úspěšné propojení. Algoritmy a principy vyčítání a řízení v jednotlivých programech jsou uvedeny v textu diplomové práce a v elektronických přílohách. [16][18][20][21]